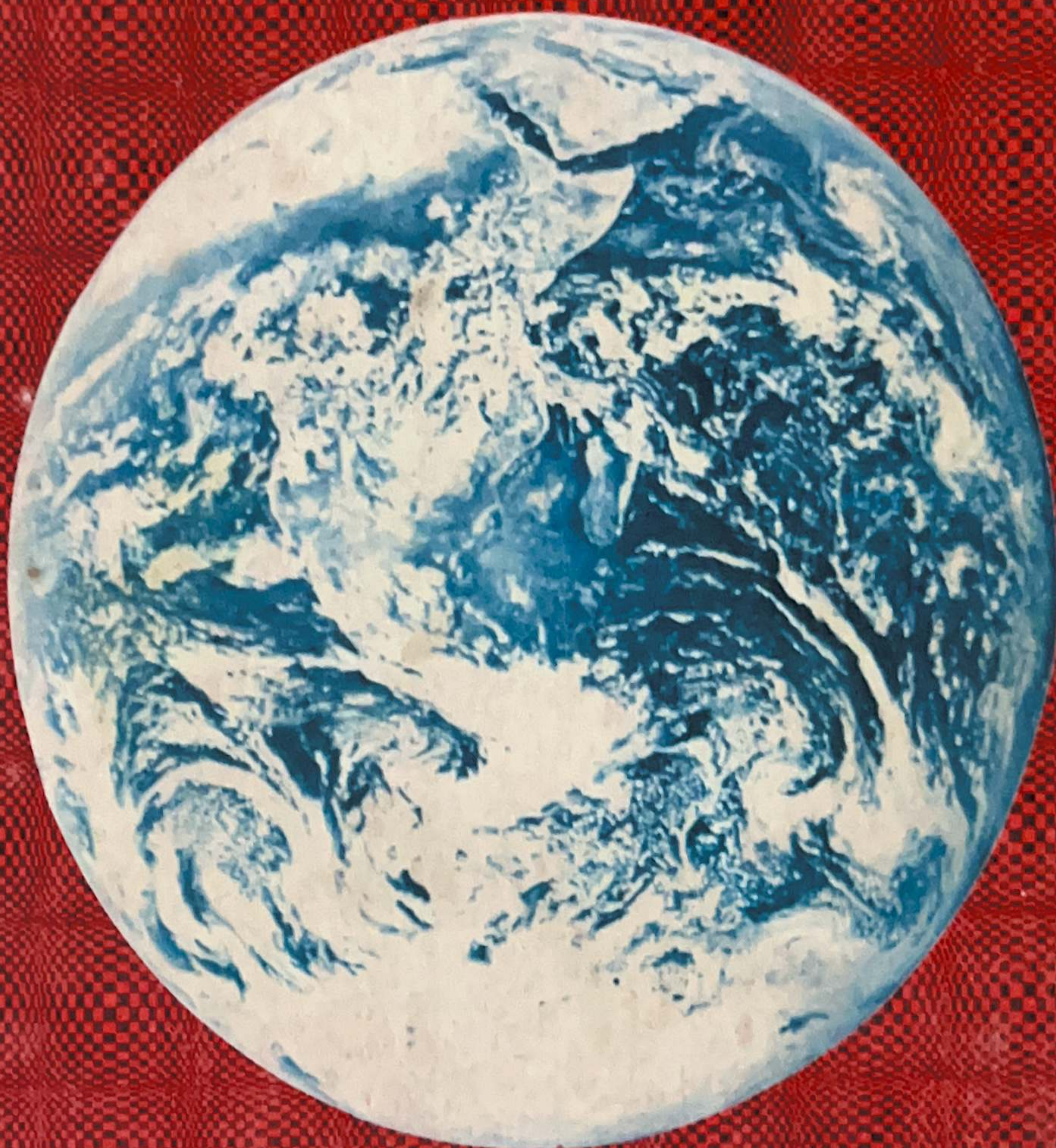
سلسلة المائة كتاب

نشأة الحياة على كوكب الارض

ترجمة : يعقوب يوسف ابونا

مراجعة : د ريمون شكوري





نشأة الحياة على كوكب الارض

البحث عن بداية الحياة

تأليف ويليام داي

تقديم (الاستاذة) لين مرغوليس

ترجمة

يعقوب ابونا

مراجعة د. ريمون شكوري

الطبعة الاولى ـ لسنة ١٩٨٩

سلسلة المائة كتاب

تصدر عن
دار الشؤون الثقافية العامة

رئيس مجلس الادارة رئيس التحرير
الدكتور محسن جاسم الموسوي

تعنون كافة المراسلات
لرئيس مجلس ادارة دار الشؤون الثقافية العامة
العنوان
اعظمية ـ ص.ب ٤٠٣٢ ـ تلكس ٢١٤١٣٥
العنوان البرقي ـ فاق ـ تلفون ٤٤٣٦٠٤٤
بغداد ـ العراق



GENESIS ON PLANET EARTH
The Search for Life's Beginning

اعدت هذه الترجمة العربية عن الاصل الصادر اساسا باللغة الانكليزية

بطبعته الثانية بعنوان:

Genesis on Planet Earth
The Search for Life's Beginning

لعام ١٩٨٤

لمؤلفه : وليام داي

William Day

مع مقدمة بقلم لين مرغوليس

Lynn Margulis

عن دار النشر : مطبعة جامعة يال

نيوهيفن ولندن

Yale University Press
New Haven and London

المترجم

مسلسل اصول الاحياء



منظر الارض من الفضاء كما تم تصويره من المركبة ابولو في مهمة النزول على القمر الاخيرة من برنامج ابولو لوكالة الفضاء الامريكية ناسا

كشف الاشكال

الغلاف وصدر الكتاب : منظر للارض من الفضاء كما تم تصويره من المركبة ابولو ١٧ في رحلة النزول على القمر الاخيرة من برنامج ابولو لوكالة الفضاء الامريكية ناسا.

١/١ – الجهاز الذي استخدمه ميلر لمحاكاة التمثيل ما قبل الحياتي للحوامض الامينية والمركبات العضوية الاخرى.

٢/١ – نمو الجرف القاري لامريكا الشمالية

٣/١ – احافير مجهرية من تشكيلة انفرواخت (مستنسخة باذن من جيه بروكس J. Brookes وجي شو G. Shaw في: «اصل وتطور المنظومات الحية» الصادر عن مطبعة اكاديميك، ١٩٧٣).

١/٤ – التصنيف الخماسي الممالك للحياة (باذن من آر ايج ويتيكر R.H. Whittaker في: مجلة العلوم ١٦٣، ص ١٥٠–١٦٠، ١٩٦٩. حقوق الطبع والنشر للجمعية الامريكية لتقدم العلوم ١٩٦٩).

١/٤ – السيانوبكتيريا (غليوكابسا) مكبرة (٤٠٥٠٠) بالمجهر الالكتروني (باذن من ايج ستيوارث بنكراتس H. Stuartz Pankratz بجامعة ولاية مشيغان).

١/٦ – رسومات لقطعة من الفلين من كتاب هوك Hooke: الميكروغرافيا.

٢/٦ – مقطع مستعرض لجزء رئيسي من خلية ثديية مرئي من خلال المجهر الالكتروني (باذن من دينيس او كالاغان Dennis O'Callaghan بالمركز الطبي لجامعة مسيسيبي. الصورة من قبل نان مانزفيلد Nan Mansfield).

٣/٦ – مخطط لخلية يوكاريوتية.

٢/٧ – صيغات بنيوية للغلوكوز D-Glucose.

٣/٧ – رسومات لبلورات حامض الصاموريك تبين الاشباح المرآتية للايسومرين اللامتناظرين الاثنيني.

١/٨ – صوره ضوئية مجهرية الكترونية لفيروس الثؤلول البشري (باذن من دينيس اوكالاغان بالمركز الطبي بجامعة مسيسيبي. الصورة من قبل نان مانزفيلد).

٢/٨ – بنى الحوامض الامينية : ادنين وغوانين وثايمين وسيتوسين ويوراسيل.

٣/٨ – بنى الريبوز والدي اوكسي ريبوز (Deoxynucleotide) : ريبوز قليل الاوكسجين).

٤/٨ – بنى الدي اوكسي نووتيد

٥/٨ – جزء رباعي النووتيد من وهن من الدي ان اي يتالف من دي اوكسي نووتيدات الادنين (A) والثايمين (T) والسيتوسين (C) والغوانين.

٦/٨ – ترتيبة التزاوج النووتيدي في الدي ان اي

١/٩ – البنية المقترحة الآر ان اي ناقلة الالانين، والآر از اي ناقلة التيروسين (من ماديسون والآخرون Madison et al في مجلة علوم ١٥٣، ص ٥٣١،

لعام ١٩٦٦. حقوق الطبع والنشر محفوظة للجمعية الامريكية لترقية العلوم ١٩٦٦).

٢/٩ – ايضاح للريبوسومات في البولي هضميتيدات التمثيلية (واطسون: علوم ١٤٠، ص ١٧، ١٩٦٣ – حقوق الطبع والنشر للجمعية الامريكية لترقية العلوم ، ١٩٦٣).

٣/٩ – المدونة الجينية.

١/١٠ – جزيئة من الدنا الثنائي الوهن الطولي (باذن دينس اوكالاغان بالمركز الطبي لجامعة مسيسيبي. الصورة من قبل نان مانزفيلد).

٢/١٠ – مؤلف سياق الحوامض الامينية من ٣٠ سيتوكرومة سي (مرغولياش Margoliash والآخرون et al في النشوء الجزيئي جزء ٢ لشركة نورث هولاند للنشر ، ١٩٧١).

٣/١٠ – شجرة التطور السلالي مبنية على السيتوكرومة سي (عن اطلس سياق وبنية البروتين ١٩٧٢).

٤/١٠ – نموذج للوقع الفعال للفريدوكسين (هول والآخرون Hall في مجلة الطبيعة ٢٣٣، ص ١٣٨، ١٩٧١، حقوق الطبع والنشر لشركة دوريات ماكملان المحدودة ١٩٧١).

٥/١٠ – مقارنة بين سياقي الكلوستريديوم والكروماتيوم (هول والآخرون، في: النشوء الكيمياوي واصول الحياة – شركة دي رايدل D. Reidel للنشر ، ١٩٧٣).

٦/١٠ – بيت المدخل لقلعة هارليك.

٧/١٠ – كاكابيكيا بارغونيانا من ويلز (باذن من سانفورد سيغل Sanford Siegel جامعة هاوائي).

١/١١ – اختراق الاشعاع ما فوق البنفسجي للماء بتوليفات مختلفة من اجواء الاوكسجين والاوزون (بركنر ومارشال Berkner and Marshall في: مداولات اكاديمية العلوم الطبيعية ٥٣، ص ١٢٢١، لعام ١٩٦٥).

١/١٢ – شجرة التطور السلالي للبروكاريوت واليوكاريوت مبنية على سياقي الفريدوكسين والسيتوكرومة سي (برناباس وشوارتز ودايهوف Barnabas, Schwartz- Dayhoff في: اصول الحياة ١٢، ص ٨٣، لعام ١٩٨٢).

٢/١٢ – تخطيط بياني للسلالات الكبرى لمنحدر البروكاريوت (فوكس والآخرون Fox, et al في مجلة علوم ٢٠٩، ص ٤٥٩، لعام ١٩٨٠ حقوق الطبع والنشر للجمعية الامريكية لترقية العلوم ١٩٨٠).

١/١٣ – مخططات الطاقة لتفسخ اليوريا.

٢/١٣ – بنية مشتقات فوسفات الادينوسين.

٣/١٣ – التمثيل الحيوي للغلوتامين

١/١٤ – الطيف الكهرومغنطي.

٢/١٤ – بنية اليخضور ا.

٣/١٢ – ثنائي نووتيد ادنين النيكوتيناميد (NAD)

١/٢٥ ـ الثيامين Thiamine
٢/٢٥ ـ البريدوكسال والبيوتين Pridoxal and Biotin
٣/٢٥ ـ مقترح سياق الاحداث المؤدية الى تكوين الخلية البيولوجية.
١/٢٦ ـ صورة لشمس الاصيل في منطقة خروسة بلانيشيا في المريخ التقطتها المركبة فايكنج الاولى بتاريخ ٢٠ آب ١٩٧٦ (باذن من وكالة ناسا).
٢/٢٦ ـ بنية الفراميسيدين اس.
٣/٢٦ ـ مقارنة بين تمثيل الحامض الدهني والهضميتيدة اللاملونة (noncoded)
٤/٢٦ ـ الكوكب زحل مرئيا من اكبر اقماره، التيتان، على بعد (٧٦٠٠٠٠) ميل منه، كما تخيله الفنان تشيزلي بونيستيل Chesley Bonestell
١/٢٧ ـ سقوط نيزك انيسهايم في الالزاس في عام ١٤٩٢.
٢/٢٧ ـ نيزك اورغيل (باذن معهد سميثونيان بواشنطن دي سي).
٣/٢٧ ـ نيزك مرچيسون (باذن متحف التاريخ الطبيعي بشيكاغو).
١/٢٨ ـ رسم بياني يبين مراحل النشوء الرئيسة المفضية الى الانسان.

كشف الجداول

الزمن الجيولوجي والتشكيلات الجيولوجية.
١/٢ ـ الفلزات الرئيسة في القشرة الارضية.
٢/٢ ـ المواد المتطايرة الموجودة الآن على سطح الارض او بالقرب منه والتي لا تفسرها التعرية الصخرية.
١/١٢ ـ الطاقة السائبة القياسية لحلماة المركبات الفوسفاتية.
١/١٥ ـ تضاعف افتراضي للجينة على فترات ١٨٨ مليون سنة.
٢/١٥ ـ تركيبة الجرثومة ديالسترنيومو سنتيس.
١/١٦ ـ الفلزات البركانية.
٢/١٦ ـ تركيزات المعادن الثقيلة المطلوبة كثيرا.
١/١٧ ـ الحصائل من تقديح خليط من CH_4 و NH_4 و H_2O و H_2
٢/١٧ ـ اغلاء H_2 و $HCNNH_3$ و $HCHO$ CHO CH_3 و H_2O و C_2H_5CHO لمدة اسبوع واحد.
٣/١٧ ـ المصادر الحالية للطاقة معدلة للارض كلها.
١/٢٧ ـ جزيئات وجدت في وسط ما بين النجوم.

مقدمة

أثناء الفصل الثاني من العام الدراسي ١٩٧٨ وفي حومة مهمة تعليمية ضخمة، وردتني ببريد الكتب نسخة من الطبعة الاولى من كتاب وليام داي « نشأة الحياة على كوكب الارض». حتى آنذاك لم يكن الكاتب وليام داي ولا دار النشر «طالوس» معروفين لدي كليا، ومن نظرة سريعة على صفحات الكتاب وجدت انه ينتشر هنا وهناك في المتن صيغ التمثيل الضوئي والتنفس، كلها مطبوعة بالآلة الطابعة اليدوية. بدا لي من الوهلة الاولى ان الصفحات مشحونة بعبارات من قبيل « نوع يعقب نوع وعتبة تلي عتبة في صعود متواصل على سلم النشوء والارتقاء » و « الانسان نفسه لن يتغير كثيرا ولا يتقدم ابعد من مجتمعه التكنولوجي لمجرد ان التكنولوجيا قد حلت محل التطور البيولوجي . ».

بدا ان داي كان قد عكف على تخليد المفاهيم المغلوطة الشائعة حول النشوء والتطور بينما انا انفق الكثير من وقتي، اثناء مساقي النشوء والتطور اللتين اقوم بتدريسهما، في نقض وتفنيد مثل هذه الاقوال السائبة بعينها، ذلك لاننا نرفض رفضا باتا « النظرية الصنوفية » التي كانت سائدة في القرن التاسع عشر، والشديدة التطابق مع نظرية «سلم الحياة» الارسطوطالية. وعلى نقيض فكرة التطور التدريجي للصنوف نحو كائنات ارقى، نقوم باستنباط وتطوير افكار حول نشأة الجينات ومعدلات انتشار الخصائص في المجموعات السكانية الطبيعية . انه من السخف الانكار ان الناس لا تزال تتطور، ونقوم بضرب الامثلة كميا على اثر الانتقاء الطبيعي على مجموعات سكانية مختلفة اليوم.

زيادة على ذلك يتحتم على أن أقوم اسبوعيا بمصارعة سيل من هذه النشوء الزائف، لا يخلو من نظريات دينية ، حول ما يفترض انه من موضوعات النشوء والتطور، ويشمل في جملته نداءات هاتفية ورسائل ومقالات وحتى كتب. ازاء وضع كهذا ، لا غرو اذن ان ارمي، بعد نظرة عابرة ، بكتاب داي حول التكوين في كومة « المرفوضات فلسفيا »، لاسيما وانه كان، بشريطه الاحمر البراق المخاط به، قد بدا لي اشبه بكتاب للتسابيح او المدائح الدينية منه بمرجع حول العلوم الطبيعية.

لكن هذا الامر احزنني كثيرا، لأن الحاجة ماسة جدا الى مرجع علمي شامل وواضح حول نشأة الحياة.

لكن ميتشل رامبلر Mitchell Rambler ، زميلي في التعليم في مادة النشوء البيئي آنذاك ، ورئيس برنامج البيولوجيا الخارجية في مكاتب علوم الحياة لوكالة الفضاء الامريكية ناسا (NASA) بواشنطن الآن، تناول الكتاب من كومة المهملات وحمله معه الى البيت. وبعد اسبوع واجهني بتوصية ثابتة صريحة لنقوم باستعمال كتاب داي كمرجع دراسي تتميمي في الدورة الدراسية كوحدة شاملة حول أصول الحياة ونشأتها الاولى. حثني رامبلر على ذلك بحماس

شديد بقوله « اقرئي الاقسام حول اصل التمثيل المقترن لحامض النوويك والبروتين، واقرئي القسم الاول حول اشباه البروتين »، فعملت بتوصيته ووجدت نفسي اعكف على قراءة الكتاب من الغلاف الى الغلاف، ودهشت للغاية من نفسي انني اسات تقديره اول الامر، ورحت اشكر رامبلر بجزالة على اقتراحه، واخذنا نستعمل الكتاب باستمرار منذئذ.

ان المرء ليغفر لداي كليشيهاته البيولوجية والعيوب الـواردة في الفصل الجيولوجي، وبصرف النظر ايضا عن النتاج العادي البيتي للمجلد الذي جرى توزيعه من عنوان خصوصي في « ايـست لانسينك « بمشيغان ، ويسر المرء متهجيا بكتاب جلي العبارة بالغ الاهمية متسق الاسلوب يربط معا الارصـاد الفلكية والاكتشافات الجيولوجية والميكروبيولوجية ، ولاسيما الكيمياء ما قبل الحياتية، هاهوذا الكتاب المنشود، وقد افلح واضعه في معالجة تاريخ المعضلة الفكرية العملاقة حول اصل الحياة بوضوح وسلاسـة بالغين، وباسلوب في متناول الطلبة والدارسين تماماً.

والآن، في عام ١٩٨٤، وبعد ان تمت اعادة صياغة المتن على نطاق واسع، فقد تقلصت عيوب الكتاب الى حد كبير وبرزت قوته وجدارة مادته، فالاخراج قد تحسن كثيرا مع احتفاظ الكتاب بحلائه وشموليته الاصليين، وجاءت هذه الطبعة الثانية المنقحة نتاجا متقنا وخليقا بالاهتمام.

يشرح داي بجلاء خال من كل غموض كيف قد تم تحويل مسالة اصـل الحياة من مصدر للتحديسات والتخمينات الفكريـة الى مسالة في العلوم التجريبية والارصادية ، يفترض داي بكل صواب ان مسالة اصل الحياة ونشأتها تقع كليا ضمن نطاق الحلول العلمية ، وهو يرى ان امرا يسيرا واحدا، هو اصول المونومرات، لا يتخطى الا بقليل دائرة المسائل الكيميائية العادية، ثم يعرض التقدم الهائل المنجز في هذا المضمار باسلوب في غاية الوضوح.

لكن ما اسرع ما يتعقد الموضوع ويتلابس، ان مسالة ظهور الحياة من مونومرات كيميائية عضوية وجزيئاتها الكبرى اكثر تعقيدا وتواشجا الى حـد بالغ. ان المسالة المركزية هنا هي اصل المنظومـات الذاتيـة التكوّن المتأيضة الناشئة من الكيميائيات، وهي مطابقة بذاتها لمسالة ظهور الخلية البروكاريوتية في حدها الادنى، فتمتد، من البيوكيمياء والبيولوجيا، من حدها الاقرب، الى أعماق غياهب الميكروبيولوجيا اللاهوائية في حدها الاقصى، وهنا بالذات، في وصف هذا الحد الكيميائي البيولوجي، وهو لـب المسالة ، يبرز نبوغ داي المتفوق، فهو يميز التجارب المنطبقة ذات العلاقة ويقدم خدمة جليلة كبرى للخبير البيولوجي والخبير الكيميائي في تقييمه الدقيق للتفاصيل غير ذات العلاقة ، ويشرح المحددات الحالية للعناصر المختلفة التي يرتكز عليها تفسيرنا لظهـور المنظومة الكيميائية الذاتية الادامة المسماة بالحياة، انما تتضاءل براعـة داي قليلا في معالجته لمادة الوراثة والجينات وبيولوجيا الخلية وجيولوجيا ما قبل دهر الحياة الظاهرة والبيولوجيا المتطورة للانسان ، غير ان الامر الحقيق بالتقدير



هنا هو انه يكتب عنها بوضوح غير منقوص وباسلوب مباشر ومشوق واخاذ.

تقف الطبعة الثانية المنقحة من كتاب داي فريدة بذاتها بصفتها الكتاب الذي كنا ننشد، انه نتاج اصيل يفيض بالشروح الواضحة الشاملة لاصـل نشأة الحياة بمفهومه العلمي، وهي الدراما العظمى التي وقعت على سطح الارض قبل حوالي اربعة آلاف مليون سنة خلت، زد على ذلك، ان الكتـاب مصمم من البداية للطلاب والدارسين . فالطلاب والمعلمون والباحثون والمشاهدون لعالمنا في عصره الفضائي هذا كلهم سيرحبون أيما ترحيب بهذا الكتاب المرجع ويهنئون مطبعة جامعة يال لطرحه وجعله في متناول جمهور اوسع.

جامعة بوسطن
كانون الثاني ١٩٨٤

لين مرغوليس
بروفسورة البيولوجيا



مقدمة المؤلف

الى ما قبل ثلاثين سنة خلت ، كانت اية دراسة هادفة لكيفية بداية الحياة على الارض البدائية تبدو خارج نطاق التحقيق العلمي، اذ كانت حتى ابسط المتعضيات المجهرية المؤلفة من جزيئات كبرى ومعقدة للغاية المسماة البروتينات ، كانت متواشجة ومتداخلة وملتبسة الى حد كان التحليل العلمي الدقيق آنذاك يقف عاجزا كليا عن خرق حاجزها لتحري غمارها والتعرف على مكنونها ، وكانت الجينات هي المفتاح الى تكاثر الحياة . هنا كان يفترض ان تمثيل البروتينات يتم في نوع من صفيحة مغايرة او مرسومة، لكن لما كانت العناصر المكونة للبروتينات ، وهي الحوامض الامينية ، تحصل في الطبيعة فقط كنواتج لمنظومات بيولوجية فقط، ظل هذا السؤال قائما ومحيراً: كيف اذاً تكونت الخلايا الاولى؟

ثم تقاطرت الاحداث كلها في نفس السنة، عام ١٩٥٣، حين أعلن فريدريك سانجر Frederick Sanger أنه قد تمكن هو والعاملون معه من تحليل البنية الاولية لجزيئة بروتينية ، واعلن جيمز واطسون James Watson وفرنسيس كريك Francis Crick عن تمكنهما من فك مغالق الاساس الكيميائي للحياة ووجدا أنه يتكون من حامض نوويك مزدوج اللولبية ، ثم جاءت تجربة ستانلي ملر Stanley Miller التي كشفت عن كيفية امكان اختلاق اللبنات البنائية للحياة دون وجود مسبق لأية خلية حية.

انطلقت البحوث حول اصل الحياة، بعد ان تحررت مما كان يصيبها من الشلل وبعد ان استحثت بعصر الفضاء، انطلقت نحو عهد من الاكتشافات والفتوحات العلمية بواسطة تلك الانجازات الثلاثة العلمية الكبرى لم يلبث ان تبددت امامه المفاهيم القديمة لتحل محلها نظريات جديدة فيما غيرت التجارب المختبرية صورة الارض البدائية، واماطت الاوضاع الجديدة اللثام عن الادلة الى كيفية بداية الحياة.

واليوم قد اصبح في مقدور العلم اعادة رسم كيفية ظهور الحياة على الارض في بادىء امرها، انها قصة مثيرة وخلابة ممتعة في تدرج البحوث وفي النتائج. والمسالة التي كانت تجابه العلماء في بحوثهم: في أي مستوى من الوجود المادي كانت للمادة القابلية على ردم الفراغ واجتسار الهوة التي كانت تفصل العالم البيولوجي عن العالم الجمادي الصرف؟

وكي نجد اصل نشاة الحياة يتوجب علينا ان نرجع الى ظروف قد انمحت وزالت ، ولم يبق لها اي اثر في الوجود.

يقتضي بنا ان نعود الى عصر سابق قد انقضى وتلاشى في الماضي السحيق حين كانت الاحوال خلاف ما هي عليه اليوم، كما يجب ان نرجع ايضا الى بعد مختلف مغاير للابعاد التي نالفها اليوم ، يلزم ان نعود الى عهد الصغائر الدقيقة الذي ينأى أشواطا شاسعة عن متناول ادراكنا الحسي، الى مستوى كانت الحياة توجد فيه اقرب الى الحاجز البيني الذي يفصل بين الحي واللاحي،



فانه هنالك على ذلك المستوى وفي تلك الاحوال لزمن سابق بعيد نجد العتبة التي افضت الى عالم الاحياء من العالم الجمادي الصرف.

كلمة شكر وتقدير

ان معظم المواد الخلفية لهذا الكتاب مستمدة من المناقشات العديدة والمثيرة التي قمت باجرائها مع ويليام ستيلويل William Stillwell وفرانك دينز Frank Denes وآخرين خلال فترة مكوثنا في معهد التنشئة الجزيئية والخاوية في ميامي. والشروح التحليلية الثمينة التي ادلى بها ويليام ستيلويل هي التي مكنت من ظهور الطبعة الاولى من هذا الكتاب.

كما انني مدين للغاية للبروفسورة لين مرغوليس لما ابدته من دعم ومقترحات ساندت بشان اعداد هذه الطبعة المنقحة. كذلك ازجي جزيل شكري الى لويس براون Louis Brown على تصحيحاته في مادتي الطاقة والفلك، والى بن ستولر Ben Stoller على تبادل الافكار والمواد ، والى لورا راندول Laura Randall على التشجيع الذي لقيته منها، والى العديد من قراء الطبعة الاولى اللذين اغدقوا بتعليقاتهم التشجيعية.

لقد قام جورج هيلدنبرانتودنيس اوكالاغان وجون باسفورد وبن وساندي فان Dennis O'Callaghan ، وجون باسفورد John Basford ، وبن ساندي فان آوزدول Ben and Sandy Van Osdol ، بقراءة النص الاصلي وتقديم المواد وابداء آراء لا تثمن في مناقشة مادة الموضوع، وقد كان ساندي فان وزدول متعاونا على وجه الخصوص في مراجعة مسودات النص المنقح.

ولابد من ابداء كلمة تقدير ايضا الى ستانلي ميلر Stanley Miller, وجيه ويليام شوبف J. William Schopf، وبريستون كلاود Preston Cloud , وكارل ووزه Carl Woese ، وديفيد ديمر David Deamer ، وويل هارغريفز Will Hargreaves ، لما اسدوه من مساعدة في تصويب فصول معينة في كلتا الطبعتين الاصلية والمنقحة . لكل هؤلاء وغيرهم جميعا ممن ساهموا بالمواد في الكتاب يضم هذا المجلد عرفانا بفضلهم.

المؤلف



توطئة

ان ما يرويه ويليام داي، واضع هذا الكتاب الذي بين يدي القاريء الان، عن نشاة الحياة على كوكب الارض يدفع المرء الى الافتراض باحتمال تواجد حياة بدائية جدا من نوع او آخر لا تزال في مستواها دون المجهري او المجهري او ارقى من ذلك بقليل او كثير على الكواكب الترابية المتصلبة (terrestrial) الاخرى كالارض في منظومتنا الشمسية ، وهي ثلاثة: عطارد، وهو اقرب الكواكب الى الشمس ويبلغ بعده عنها (٣٦) مليون ميل، ودرجة الحرارة في نصفه الحار المضاء على الدوام تقع بحوالي (٥٤٠٠) مئوية وفي نصفه البارد المظلم على الدوام بحوالي (– ٥٢٠) مئوية ، والزهرة ، وهي تكاد تكون بحجم الارض تقريبا ، لها جو كثيف للغاية تلبده غيوم سميكة ، وتبعد عن الشمس بمسافة (٦٧) مليون ميل؛ والمريخ، او الكوكب الاحمر، وهو اكثر الكواكب شبها بالارض من حيث المناخ ودورته حول نفسه وحول الشمس ، رغم ان جاذبيته اقل من نصف جاذبية الارض، وقطبيه مغطيان بالثلوج الدائمة ، ويبلغ بعده عن الشمس (١٤٢) مليون ميل. اما الكواكب الخمسة الاكبر والابعد والمنعوتة بالخارجية، خلاف الاربعة الداخلية المذكورة، فانها لا تزال في حالتها الغازية . فالمشتري، وهو اقربها الى الشمس ويبعد عنها فقط (٤٨٤) مليون ميل في المعدل، لا زالت كثافة كتلته تقل عن كثافة الماء. واحتمال وجود حياة بدائية لا يقتصر على كواكب منظومتنا الشمسية بل لابد وانه ينطبق ايضا على المنظومات الشمسية الاخرى في مجرتنا، ام النجوم، التي تضم مائة الف مليون منظومة منها ما هو اكبر من منظومتنا بكثير جدا، وايضا على كواكب المنظومات الشمسية في المجرات الاخرى المنتشرة بالاف وملايين الملايين اللامحدودة ، ومنها ما هو اكبر بكثير من مجرتنا، في الفضاء او الكون الرهيب .

ان تطور الحياة على كوكب رهن بتطور الكوكب ذاته ، والارض لا تزال في تطور متواصل ، وهكذا احياؤها معها ايضا، فاذا تباطأ كوكب في تطوره او توقف عن التطور في احدى مراحله ، كما هي الحال في قمرنا مثلا، فان احياءه ايضا تواجه المصير نفسه ، واما ان تبقى في مستواها بدون مزيد من التطور، ان لم يكن ذلك حد التطور الاقصى للكوكب، او تتضاءل وتنقرض كليا اذا اختلت البيئة المؤاتية لبقائها او اقتحلت او تعرضت لمؤثرات اخرى تعدم الحياة . تدل الدراسات ان العناصر الاثنين والتسعين الطبيعية الموجودة في الارض هي نفسها التي يتألف منها باقي الكون ولا يوجد غيرها. ويقول داي ان الفحوص والتحليلات المختبرية الكيميائية والبيولوجية المجراة على النيازك المختلفة



وكذلك الصخور المستجلبة من القمر،
الساقطة على الارض من الفضاء ، جميعها قد كشفت عن احتوائها لنفس الفلزات الموجودة في الارض مع نسب مختلفة من بعض نفس المواد والمركبات العضوية ما قبل الحيوية التي تكونت منها الحياة بالاصل على الارض، كالسكاكر الاولية والبروتينات، وهذه هي المواد التي تكونت منها اللبنات البنائية للحياة بشكل ما يسمى بهضميتيدات (peptides) وبولي نووتيدات (ply nucleotides) تضامت والتامت بحكم ظروف وجدت في حينها، متاثرة بالغازات والابخرة المتصاعدة من جوف الارض وبمقذوفات الاندلاعات البركانية ، ومستمدة الطاقة من ضوء الشمس ومصادر الطاقة الاخرى في بيئتها الارضية، فتمخضت عن حياة بشكل خلية وظيفية متنامة بدائية، ثم ان الاحياء الارضية من حيوانية ونباتية، بما فيها الانسان نفسه، تتالف فقط من (٤٠) من هذه العناصر الطبيعية ، وجميعها عادية وشائعة ولا يوجد بينها اي عنصر نادر او غريب. ومن بين هذه الاربعين تكفي ثمانية عشر منها فقط لتكوين الحياة ، ان الجبلة الاولية او البروتوبلازمة (protoplasm) تتالف من (٣٦) عنصرا لكن اربعة من هذه فقط تؤلف (٩٨٪) من مجموع تركيبة الجبلة، وهذه هي الكربون ، والهيدروجين ، والنيتروجين، والاوكسجين، مع زيادة نسبة الكربون على الجميع.

كلنا بالاصل ننحدر من خلية بدائية واحدة تولدت ونمت وتكاثرت وتطورت وتشعبت في دورات مرحلية تكرارية لا حصر لها عبر ما يناهز اربعة آلاف مليون سنة، لا شان لها غير البحث عن الغذاء مندفعة بالفطرة الى التطور والارتقاء.

ان عالم الاحياء عالم رهيب هائل وعجيب الى حد يفوق التصور ويتجاوز المعقول، اعتبارا من الاجسام الحية المرئية اعتياديا، حيوانية ونباتية ، ونزولا في الحجم الى اصغر الجرائيم وادقها التي تحتاج الى التكبير الى عشرات ومئات الآلاف من المرات للتمكن من مجرد رؤيتها، ثم من هناك تبدا تستدق في الصفر الى ما دون قدرة المجهر الادراكية وتتدرج في الصفر حتى الفاصل البيني ما بين الحياة والجماد ثم تتضاءل وتتلاشى في الجماد الصرف او ما هو لا يزال بنظرنا جمادا صرفا. ومفردات اجزاء الحياة او لبناتها البنائية لا تشكل حياة بذاتها، وانما تضامها والتئامها معا هو الذي يشكل الحياة بفعل تحفز فاعلية احدها بفاعلية الاخر.

يحكي المؤلف داي قصة نشاة الحياة على كوكب الارض باسلوب شيق اخاذ وبمفهوم التجارب المختبرية الاعتمالية للتفاعلات الكيميائية التي كان محتملا وقوعها في بيئة الارض البدائية ، والمستدل عليها وفق الدراسات والتحريات العلمية المختلفة والتجارب المقامة عليها. هذه هي الارض قد غدت كتلة تراكمية صلبة يغمرها ضوء الشمس وتسفعها اشعته ما فوق البنفسجية، فتتفاعل عناصرها الطبيعية الى ان تتمخض عن خلية حية تنطلق ساعية وراء الغذاء حفاظا على بقائها بدافع الغريزة فتتكاثر وتطلق افرازاتها في البيئة فتطورها وتغيرها وتتطور هي وتتغير معها، وتتسارع وتيرة اختلاق الحياة اولا على نطاق دقيق مجهري وفي تجمعات المياه الضحلة التي نمت واتسعت بالتدريج وصارت بحارنا



التي نالفها اليوم، وتتعاقب الاحقاب والدهور والحياة في تزايد وتنوع مطردين ويبدا الاوكسجين بالتراكم في فضاء او جو الارض. وفي كل حقبة تظهر احياء تظل باقية طوال بقاء البيئة المؤاتية لبقائها وتنقرض بزوالها لتظهر احياء ارقى منها تلائم البيئة الجديدة فتعيش فيها وتتفاعل معها وتعمل على تغييرها حتى اذا ما بلغ تغير البيئة مرحلته الحرجة او الخطيرة تبدا هذه الاحياء بالتضاؤل بينما تكون قد ظهرت اخرى اكثر ملاءمة للبيئة المتغيرة فتزدهر الجديدة وتنقرض القديمة ، وهكذا دواليك الى ان ظهر الانسان قبل زهاء خمسة او عشرة ملايين سنة خلت. لكن الانسان الاول الذي يرجع اصله بعض العلماء، بما فيهم داي نفسه ، الى ما قبل اربعة الى خمسة ملايين سنة ، بينما يقول آخرون ان اول ظهور الانسان كان قبل حوالي خمسة وعشرين مليون سنة، وهذا هو اقدم تقدير لظهور اجناس عديدة من الانسان ، كانسان النياندرتال (Neanderthal) وانسان الكروماغنون (Cromagnon) وغيرهما . اما نحن ، الانسان البشر ، فلم تعثر التنقيبات الجيولوجية على اي اثر لنا اقدم من زهاء نصف مليون او ستمائة الف سنة مضت فقط. وحتى الى ما قبل ثلاثين او اربعين الف سنة كانت اجناس من الانسان غيرنا تعيش اواخر عهدها آنذاك وانقرضت وزالت تماما . وتشير التنقيبات الجيولوجية ايضا الى ان الانسان الحالي بدا يقلع عن التجوال والصيد ويستقر في مجتمعات زراعية قبل فقط حوالي عشرة آلاف سنة، وليس اكثر.

لا يجزم المؤلف في اقواله بشيء ، ولكنه يطرح الامثلة مع البراهين الثبوتية عليها فتحكي هي قصتها بنفسها ، ويرسم لنا كيف ان الخط الفاصل بين الكيمياء العضوية واللاعضوية وهمي، وذلك في مدرج من التقارب وتضاؤل الفوارق وتزايد التشابه الى ان يتلاشى آخر فارق فلا يبقى لدينا غير مجرد كيمياء فقط، وتلك هي كيمياء الارض البدائية على فطرتها ما قبل الحياتية قبل زهاء اربعة آلاف مليون سنة.

ان الانسان والاحياء والطبيعة كلها في تطور ارتقائي متواصل ، لكن الانسان قد اخذ يتحكم بتطوره وتطور بيئته بفضل علومه وتكنولوجيته، وربما انه قد سارع الخطو، اما الى اين فذلك ما لم يلتفت احد حتى الآن الى معاينته من اي منظور. لكن ربما لا تزال المرحلة الحرجة تكمن اشواطا بعيدة في المستقبل. والانسان الآن في بداية عصره الفضائي، عصر ارتياد العوالم الاخرى والتنقل بين الكواكب في الكون، ولابد ان تصبح الاسفار الفضائية في يوم ما كالسفر بالطائرة اليوم وفي الغد القريب . ذلك لأن الطائرات التي ستستطيع قطع حوالي نصف طول محيط الارض او اكثر في ظرف ساعة واحدة او اقل على وشك الانطلاق في الاجواء مع حلول التسعينات من قرننا العشرين هذا.

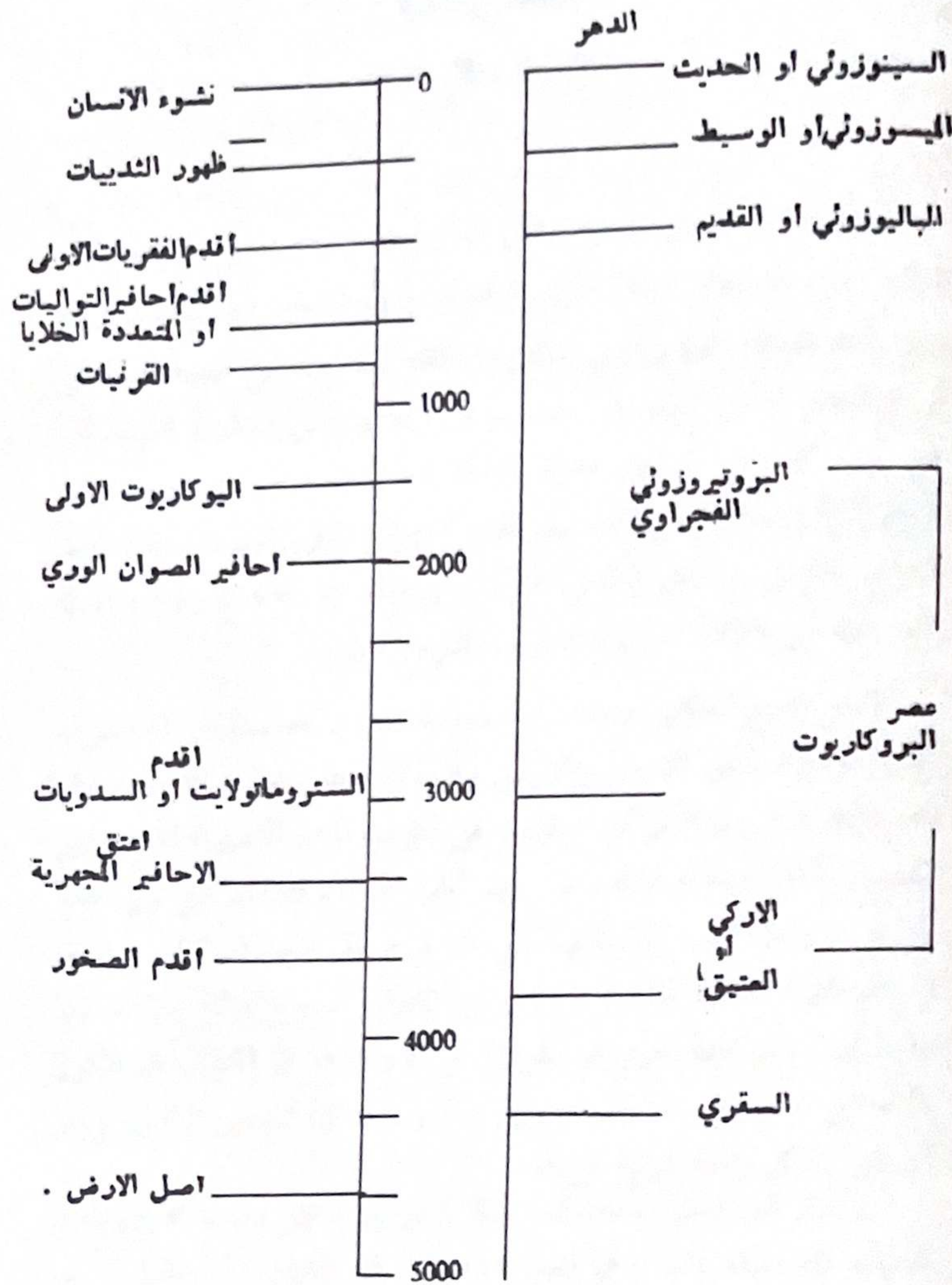
والسؤال في الفقرة السابقة «اما الى اين؟» هو السؤال الذي يطرحه داي نفسه الذي يربط بين تطور الانسان وتقدمه التكنولوجي، ويحذر من ان استمرار الانسان في صب ذهنيته التفكيرية في الآلات ربما يؤدي سهوا الى افلات زمام التكنولوجيا من يديه وتصبح الآلات ذاتية التكاثر والتطور والتصرف فتسبق



الانسان وتعلو عليه فيكون بذلك آخر عهده في سيادته على الارض والطبيعة، ويتراجع دوره امام الادمغة الآلية الجبارة وتخلف عنها، وفي النهاية، كخلية البروكاريوت قبل اكثر من الف مليون سنة، يبدأ بالانكماش والانقراض، او ربما يظل بعضه في البقاء، كما هي في البروكاريوت اليوم، في مجتمعات ضئيلة منزوية في بيئات منعزلة على هامش الوجود لا تفقه شيئا مما يجري حولها وعاجزة كل العجز عن مواكبة مسيرة التبدل الطفرة التي تشعب منها او تولد بفعلها.

المترجم

الزمن الجيولوجي والتشكيلات الجيولوجية



الفصل الاول

اللبنات البنائية

كان الوقت احدى عصريات الخريف من عام ١٩٥١، حين باشر هارولد يوري Harold Urey، أستاذ الكيمياء الفيزيائية ومكتشف عنصرالديوتيريوم، وهو أحد اشكال الهيدروجين الثقيل ، بالقاء محاضرته في جامعة شيكاغو في موضوع يشكل احدى دراسات عمره، ألا وهو أصل المنظومة الشمسية. ففي آخر كتاب له[1]، انجز حديثا آنذاك ، كان قد افترض ان نظرا الى الاحوال المنقوصة للسديم الشمسي الذي أدى الى تكون الكواكب فان الجو البدائي للارض لم يكن يتضمن الاوكسجين مثلما هو شأنه اليوم ، وانما تألف فقط من غازات الميثان والامونيا والهيدروجين.

جلس جميع الطلاب وهيئة التدريس يستمعون باهتمام. لقد تغيرت النظريات حول أصل الشمس والارض والكواكب على تعاقب القرون ، ولم يعد يعتقد الآن بأن الكواكب تكونت من قطرات المادة المنصهرة المنقذفة من الشمس اثناء اصطدام عنيف لها بنجم آخر. في عام ١٩٤٣، أي قبل ذلك بثماني سنوات فقط ، كان عالم ألماني قد طرح بأن الكواكب تكونت بفعل وتراكم المواد الصلبة المتناثرة من الدرادير الدوامة لسحابة هائلة من الغبار والغازات ، ومن جهة أخرى لم يكن الا في عام ١٩٢٩ ان اكتشف ان الكون يتألف في معظمه من غاز الهيدروجين وان وجود الاوكسجين الطليق فيجو الارض يشكل واقعة كونية غريبة.

واصل البروفسور محاضرته موغلا فيموضوع آخر محبب له هو اصل الحياة، فقد اعتقد العلماء في العموم انه لابد ان الحياة بدأت على الارض الاولية قبل آلاف الملايين من السنين بطريقة يمكن تفسيرها علميا ، لكن

التدليل على كيفية امكان حصول هذا كان عسيرا للغاية ، وكنتيجة كانت الدراسات حول أصل الحياة قد بقيت في حالة من الشلل • لقد بينت علوم الحياة ان جميع اشكال الحياة تتألف من مواد كيميائية معينة هي لبناتها البنائية ، وهذه المواد هي الحوامض الامينيـة (amino acids) ، والسكاكر (sugars)، والدهنيات (lipids)، ونوعان من القواعد الحلقية اللامتجانسة (heterocyclic bases) يسميان بالبيورينات purines والبيريميدينات (pyrimidines) وهذه المكونات مرتبطة معا في بوليمرية كبيرة ، فالحوامض الامينية تشكل البـروتينـات ((proteins)) ، والسكـاكر تشكل البـولي سكريـدات (polysaccharides) ، والقواعد تشكل الحوامض النوويك (nucleic acids) واتضاد هذه البوليمرات (polymers) المشتبكة في وحدات مغلفة بأغشيـة دهنية يشكل الخلايا الحية، غير ان الصعوبة التي حيرت العلمـاء واحبطت جهودهم طوال أكثر من مائة وخمسين عاما هي ان اللبنات البنائية تبدو انها منتجة في الطبيعة فقط من قبل متعضيات (organisms) حية• هناك اذن يكمن اللغز المتناقض المراوغ، فاذا كانت النباتات والحيوانات الحية هي فقط التي بوسعها أن تقوم بتمثيل (synthesise) الحوامض الامينية وغيرها من اللبنات البنائية اللازمة لاختلاقها هي بذاتها ، كيف، اذن، تمكنت الحياة أصلا أن تبدأ على الارض؟

أخذ بعض الطلاب يدونون الملاحظات ، لكن الاغلبية تركت افكارهـا تحوم حول المسألة بحثا عن أجوبة جاهزة عن السؤال • كانت الندوة قد بدأت تزداد انهماكا، فالنظريات حول المادة والطاقة والكون اخاذة ومثيرة بحـد ذاتها، لكن التحديس حول تكون الحياة من مواد جامدة صرف اقتدح المخيلة وآذن بالخطر•

استمر يوري يحاضر قائلا : لابد انه وجدت على الارض البدائيـة



ظروف قد انمحت وزالت الآن وكانت هي التي أتاحت للحياة أن تبدأ، لأن انعدام الاوكسجين الطليق وانخفاض الضغط الجوي كانا ليؤديان الى نشوء بيئة كيميائية مختلفة• اذ، لكي تتمكن الخليـة من النشوء لابد أن بعض المركبات العضوية كانت قد تواجدت مسبقا قبل نشوء الحياة ذاتها• انما هذا كان مجرد افتراض ، ولم يكن يوجد أي برهان تجريبي على امكانية تكون في الارض ما قبل البيولوجية أو الحياتية اية مواد عضوية لازمة لنشأة الحياة مطلقا، مع ذلك، ان المنطق يفرض حتمية اختلاق مركبات عضوية على الارض البدائية بطريقة ما قبل أن تتمكن الحياة من التكون•

وفيما واصل يوري محاضرته حول الحيرة في كيفية بداية الحياة كان أحد الطلاب من السنة الاولى من الدراسات العليا ، وهو شـاب من كاليفورنيا يدعى ستانلي ميلر Stanley Miller يصغي باهتمـام بـالغ ، كان ميلر في الحادية والعشرين آنذاك، وقد جاء الى شيكاغو من باركلي في ايلول وكان لا يزال يبحث عن مسألة بحثية مناسبة ليعمل عليها لاعداد رسالته• انالنقطة التي أثارها البروفسور يوري تبدو معقولة تماما ، لكن لربما ان البرهنة على كيفية تكون المادة العضوية في الاحوال البدائية للارض عملية تستغرق زمنا طويلا، لذلك، ازاح ميلر الفكرة جانبا عن ذهنـه واستسلم لرأيه الاول في البحث عن مسألة أكثر نظرية•

انفضت الندوة بفترة الاسئلة المعهودة• ألم يقم البيوكيميائي الروسي الكسندر اوبارين Alexander Oparin ايضا بالبحث في امكانيـة تكون المركبات العضوية في الضغط المنخفض قبل وجود أي اوكسجين فيه؟ أجاب يوري بالتأييد واوضح أنه لم يقم أحد بالتحقق من صحتها في اختبار تجريبي•

في ذلك الشتاء انطلق الطالب الشاب المتخرج من كاليفورنيا يباحث مختلف أساتذة الكيمياء حول اهتماماتهم البحثوية الخاصة بهدف العثور على مشروع



مجز يعمل عليه لاعداد اطروحته ، وفي الاخير اعتزم على الدراسة على يدي البروفسور ادورد تيلر Edward Teller ، الحجة المعروفة في الفيزياء الذرية، في موضوع كيفية تكـون العناصر في النجـوم الشديـدة الحـرارة ، لكن بعد انقضاء ستة شهور أعلن البروفسور تيلر اعتزامه على مغـادرة جامعة شيكاغو ليفتتح مختبرا في مدينة ليفرمور بكاليفورنيا ، وعاد ميلر مرة اخرى يواجه مشكلة البحث عن مشرف جديد يتدرب تحت اشرافه وموضوع جديد يعد منه رسالته ، وعادت به الذاكرة الى ندوة يوري والاسئلة التي كانت قد أثارتها، ربما ان العمل الذي تستلزمه التجربة لن يكون مختصا بالقدر الذي تراءى له بالاصل وكلما أمعن في التفكير بالامر كلما راقت له المسألة أكثر واشتد حماسه لها بتزايد.

وعندما قام بمفاتحة يوري بشأن اجراء التجربـة لتحري كيفية امكان تكون المركبات العضوية على الارض ما قبـل الحيويـة (prebiotic earth) قوبل حماسه بحذر بالغ ، وشرح له البروفسور احتمال أن يؤول مثل هذا البحث الى مهمة شاقة وطويلة وعقيمة ، واقترح عليه دراسة امر وجود عنصر الثاليوم (Thalium) في النيازك . وفقط بعدما ادرك يوري مدى تصميم الطالب على المضي بفكرته وافق على قيـامه بخوض مسألة كيفية تمثـل المركبات العضوية وحذره ان لم تسفر الدراسة عن نتيجة ملموسة في ظرف ستة شهور فيتوجب على ميلر آنذاك التخلي عن التجربة والانتقال الى بحث تقليدي أكثر من ذلك ليضمن النجاح لاطروحته.

خلال الاسابيع التالية قام ميلر بدراسة بحث يوري حول هـذا الموضوع[٢] وطالع كتاب اوبارين[٣]، حاول بالتعاون مع يوري تصميم جهاز مختبري بوسعه أن يحاكي الاحوال الجوية المفترضة للارض البدائية . ان المطلوب هو شيء يشبه مصدرا طبيعيا ليفعل فعله على خليط من الغـازات



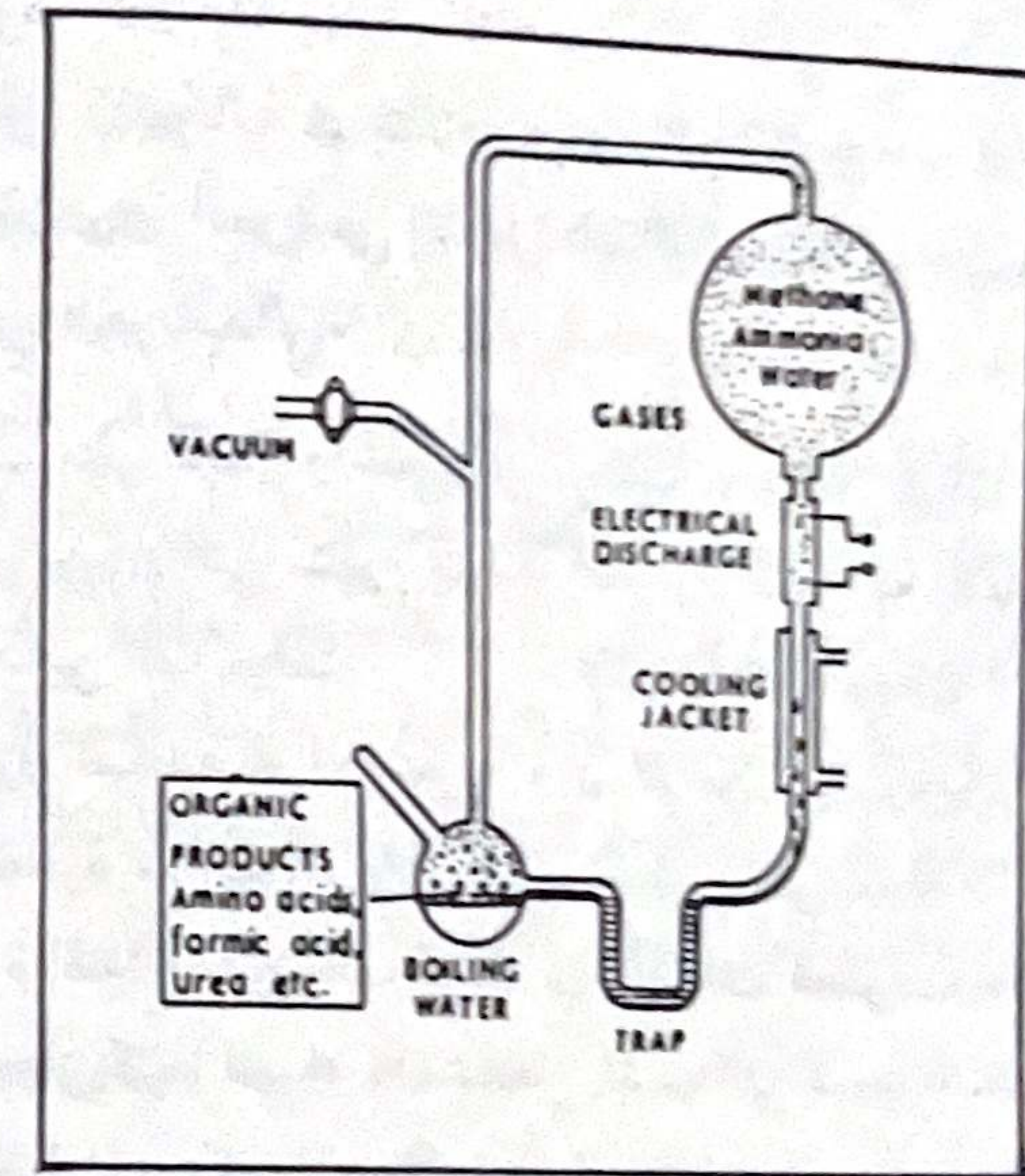
لتوليد تفاعل كيميائي، لكن لما كان الجو يتلقى الرطوبة المتبخرة من البحار، والتي تتكاثف ثانية لتعود الى السطح كأمطار ، فانه يلزم ان يشتمل الجهاز على كمية من الماء ايضا. تم رسم التصميم واودع الى مصنع الزجاج للانشاء.

بعد أسبوع كان قد تم تحويل الرسم الى انموذج كامل من الانابيب والقوارير الزجاجية المتصلة . تألف الجهاز الكامل من حجرة زجاجية بسعة خمسة لترات مركبة فوق انبوبة زجاجية في باطنها قضيبا الكترود تنغستن مع رأسيهما متقاربين لبعضهما بما يكفي ليتسنى للشرارة القفز عبر الثغرة بينهما ، وفي اسفل هذه ربطت مكثفة موصولة بأنبوبة بشكل (يو: U تمتد الى قارورة مرتجع الماء كما تم تمديد انبوبة ارتجاع من القارورة عودة الى الحجرة. كان هذا جهازا مغلقا حيث الماء المغلي في القارورة يمر كبخار عبر الشرارة الكهربائية ثم يتكثف ويعود الى القارورة . كان الجهاز يمثل انموذجا للاحوال الجوية في الارض البدائية ويحـاكي وقـوع العواصف الرعدية في الجو البدائي.

نصب ميلر الجهاز وأخذ يتأمل تركيبته ، قرأ التعليمات الخاصة بلفيفة تسلا (Tesla coil) التي ستقوم بتوليد الشرارة الكهربائية وذهل عندما وجد انها تنتج ستين الف فولط . تردد ازاء هذا وبدأت الشكوك تغشي افكاره حول امكانية اجراء التجربة . ان كلا من الهيدروجين والميثان يشكل خلائط متفجرة مع الهواء، وأي تسرب سيؤدي الى كارثة لا محالة، وحتى مجرد فكرة اقتداح ستين ألف فولط في الماء بدت محفوفة بالمخاطر ، ثم لما كان الجهاز كتيما للهواء فان تسخين المـاء الى درجة التبخر والتكثف سيمدد الغازات ويمكن أن يولد ضغوطا خطرة . قام ميلر باعادة الجهاز الى نافخ الزجاج وطلب مبادلة موضعي المكثفة والانبوبة المحتوية لثغرة الشرارة.



بدا الجهاز الآن اكثر أماناً بعد تغيير تركيبته لتأتي الشرارة عقب تكاثف بخار الماء، وقرر ميلر وضع التجربة في حيز الاختبار، صب الماء في القارورة وفرغ الهواء من الجهاز وضخ محله خليطا من الميثان والهيدروجين، ثم قام بفحص الجهاز ليتأكد انه خال تماما من كل أثر للاوكسجين ، وفحصه ايضا للتأكد من عدم وجود أي تسرب فيه ووجده كتيما كليا، وبحذر قام بقبس لفيفة تسلا بمقبس الكهرباء وبدأ يصعد التفريغ الكهربائي (electric discharge) بتمهل الى ضغط ستين الف فولط ، وبدأت عقائق براقة زرقاء تتطفر عبر الثغرة بين الكترودي التنغستن بفرقعة ايقاعية.



الشكل ١/١ ـ الجهاز الذي استخدمه ميلر ليحاكي التمثيل ما قبل الاحياتي للحوامض الامينية والمركبات العضوية الاخرى.

لم يبدُ أن أي شيء آخر قد حصل وعاد ميلر الى رحلته ليحاول ان يدرس، لكنه بين حين وآخر كان يذهب الى الجهاز ليتفقده طوال تلك الأمسية ليرى ما اذا يمكنه أن يلمح اي تغيير فيه. وعندما حان وقت الذهاب الى البيت قرر ان يترك الجهاز يعمل طوال الليل . في الصباح التالي عندما دخل الى المختبر رأى طبقة باهتة من الهيدروكربون عائمة على سطح الماء في القارورة . لكنه لم يجد أي جديد في ذلك، فقد كان باحثون قبله قد لاحظوا النتيجة نفسها عند قيامهم بتعريض الميثان لتفريغ كهربائي، فترك التجربة تستمر لعدة ايام اصبحت طبقة الهيدروكربون خلالها سميكة ، لكن التحليل الذي أجراه للماء بعد ذلك لم يكشف عن وجود اي شيء يشبه مواد عضوية ذات صفة بيولوجية.

ربما ان الستين الف فولط هذه أقل خطرا مما بدا له للوهلة الاولى. قام ميلر باعادة الجهاز الى المصنع وطلب اعادة المكثفة وأنبوبة الالكترودين كلا الى موضعها الاصلي، وبعد اسبوع كان مستعدا للقيام بمحاولة أخرى.

وقام بتكرار التجربة . في هذه المرة قام بتدفئة الماء في القارورة الى حرارة منخفضة بلفيفة تسخين، ومرة أخرى ترك التجربة تستمر متواصلة، بعد يومين رأى ميلر ان الطبقة الهيدروكربونية لم تعد تظهر وان المحلول كان قد اصبح اصفر باهتا، يبدو ان شيئا ما كان يحدث، قام بتحليل الماء ووجد ان النتائج توحي بشيء ما ولكنها لم تكن جازمة.

مرة أخرى قام بتكرار التجربة ، وفي هذه المرة رفع ميلر الحرارة حتى جعل الماء يغلي بشدة ، وفيما رأى الماء يقطر من المكثفة علم ان الجهاز كان قد تحمل الضغط الى ان بلغ حالة ثابتة وكان الماء يجري في الدورة بانتظام. ظل التفريغ يقدح ويتفرقع عبر الثغرة فيما كان الماء المغتلي يسوق أبخرته مع الغازات عبر التفريغ الكهربائي، ووقف ميلر ينظر بارتياح والتجربة تعمل

بالطريقة التي صممت لها في محاكاة الجو البدائي.

ليس بوسعه ان يفعل أي شيء غير الانتظار ، وتعاقبت الساعات الواحدة تلو الاخرى والشرارة تستمر بالاقتداح وأبخرة الماء والغازات تدور وتدور في الجهاز مفتعلة دورة الماء المتبخر من البحار الى الجو حيث يختلط بالغازات الجوية ويتعرض للعواصف الرعدية ثم يعود في النهاية الى البحار بصفة الامطار • لم يظهر أي تغير ملموس لفترة طويلة ، وتركت التجربة لتستمر طوال الليل.

وفي الصباح التالي عندما دخل ميلر الى المختبر لاحظ في الحال ان الماء قد تغير لونه الى الوردي. اغتمره الحماس واندفع بسرعة الى الجهاز لينظر عن كثب، ثم عندما رأى ان رتينة التسخين كان لها لفيفة عارية كانت تتوهج حمراء من خلال الماء فتر تهلله، وبتمهل اخفض الرتينة ونظر الى المحلول في القارورة ، ووجد أن لونه لا يزال ورديا، ان تفاعلا كيميائيا معينا كان قد حصل حتما، رغم كل شيء، وبدأت افكاره تتسابق، هل هذه بورفرينات؟ porphyrins وهي احدى مجموعات مشتقات البيرول pyrrole الموجودة في السيتوبلازمة cytoplasm (أي الحشوة) التي تتحد مع الحديد لتشكل الصبغة اللابروتينية المسماة هيم heme في هيموغلوبين الدم، وتتحد مع المغنيسوم لتشكل اليخضور ، أي الكلوروفيل chlorophyll، في النبات) ان البورفيرينات تعطي اللون الاحمر للدم • اذن هل يجري انتاج البورفرينات في هذا التحاكي لاحوال الارض اللاحيوية؟

لكنه ترك التجربة تستمر، وتزايدت غمقة اللون ، وبعد انقضاء اسبوع واحد كان الماء في القارورة قد اصبح حتما احمر.

واخيرا حان وقت اختبار النتائج. أوقف ميلر التجربة وترك الجهاز

يبرد، ثم استخرج عينة من القارورة وقام بتحليلها بطريقة الكروماتوغرافيا الورقية (paper chromatography)، وهي الطريقة المعتادة المتبعة في فصل واكتشاف مقادير صغيرة من المادة • بعد انجاز الكروماتوغرامة او الشريط الورقي المتضمن لترتيب الخطوط أو الانطقة الناتج من عملية الفصل، قام برش الشريط بغبرة من محلول النتهدرين (ninhydrin) واحماه في الفرن. وفي غضون دقائق بدأت بقع ارجوانية تظهر مشيرة الى المكونات • ان هذه المركبات هي حوامض امينية؟

قام ميلر بتحليل عينته البالغة غراما واحداً بطريقة كروماتوغرافيا التبادل الانيوني والكاتيوني anion = تيار سالب و cation تيار موجب في التحليل الكهربائي)، ثم فلق المكونات بطريقة التحليل التقاطري (fractionation) وعمل مشتقات كيميائية من الحصائل الاكثر غزارة ، وقارن نقاط ذوبانها بتلك الخاصة بالحوامض الامينية المعروفة ، بعد ذلك قام بتعقيم الجهاز برمته وكرر التجربة للتثبت من ان هذه النتائج لم تكن معزوة الى تلوث بكتيري، لكن النتائج لم تدع أي مجال للشك، لقد كانت حوامض امينية بالفعل، ذات المركبات التي تستخدمها النباتات والحيوانات في بروتيناتها[٤]. والآن لم تعد توجد أية معضلة حول كيف تمكنت المتعضيات من انتاج المركبات العضوية قبل وجودها هي بذاتها ـ فقد كانت اللبنات البنائية موجودة مسبقا على الارض البدائية.

كانت هذه التجربة التي اقتحمت المغالق وشقت الدرب ، كما ان بساطتها والحصيلة العالية من المنتجات ، والمركبات البيولوجية النوعية المنتجة باعداد محدودة في التفاعل، كانت كافية للبرهنة على ان الخطوة الاولى في نشأة الحياة لم تكن مطلقا مصادفة وانما حدثا حتميا كان لابد من وقوعه • وبالنتيجة كشفت هذه التجربة ان المكونات الاساسية التي منها يتم انشاء

المنظومات البيولوجية (biological systems) هي مركبات لها خاصية امتصاص الطاقة . لذلك فانه مع الخليط الصحيح من الغازات يمكن لأي مصدر طاقة بوسعه تكسير الاربطة الكيميائية (chemical bonds) أن يطلق تفاعلا يفضي الى تكون اللبنات البنائية للحياة[٥].



الفصل الثاني

الارض الاولية

كانت الارض البدائية عارية قاحلة تطلع عليها الشمس بسرعة في كل صباح وتلفحها عبر السماء السوداء بلهب شديد من الاشعاع ما فوق البنفسجي. وكان تراكم الكتل اللامنصهرة من الاتربة والخلائط الفلزية والحجارة التي كونت الكوكب بالاصل، قد تركه أشبه الى حد كبير بوجه القمر الجاف المقحل، وفيما تابعت الشمس مسارها النهاري كانت تمر بسرعة عبر السماء في ظرف ساعات قلائل لتغيب تحت الافق بنفس سرعة طلوعها، اذ في ذلك العالم السقري (Hadean) العديم الهواء والماء كانت فترة قصيرة لا تتجاوز مدة خمس ساعات ليس الا[١].

ومع حلول الليل كان القمر يطلع بكتلته الرهيبة قريبا من الارض بحيث يبدو انه يكاد يلامس سطحها وهو يبزغ من فوق الافق مضيئا وجهها الموحش المجدب بوجهه النير المتوهج الهائل. وفي كل مرة فيما كان يطلع بسرعة كانت جاذبيته تفعل فعلها في اثارة الامواج المدية في اللابا Lava اللزجة المنصهرة المنصبة على سطح الارض من الاندلاعات العديدة . كان القمر يدور مباشرة ما وراء حد روش (Roche's limit) البالغ ٢ر٨٦ انصاف قطر (radii) أي على بعد من الارض لا يتجاوز أحد عشر الف ١١٠٠٠ ميل، وأفلت من التحطم بدخوله في منظومة حلقية شبيهة بالحلقة الخارجية الدائرة حول الكوكب زحل على بعد قدره ٢ر٣ امثال طول نصف قطر الكوكب . وتعاقبت الشهور بسرعة فيما التف القمر حول الارض في ظرف ٥ر٦ ساعة في مسار ينحرف ٤٦ درجة تقريبا عن الاستواء الفلكي.



ومهما بدا قفار الباطن الصخري، فقد تضمنت الارض الباطنية في خلقتها جوهر وجود جديد . كان الكوكب لا يزال في الجوهر كتلة غير متسقة قد تراكمت ونمت بدرجة حرارة منخفضة بما يكفي لتسكينها من احتفاظها بالمكونات المتطايرة (Volatile constituents) المختزنة في باطن بنيتها الصخرية. كما كان ايضا محتبسا في باطنها النظائر المشعة لعناصر البوتاسيوم والاورانيوم والثوريوم . ومع مضي الزمن امتصت الصخور الحرارة التي تعذر عليها التبدد والمتولدة من التفكك الاشعاعي لعناصر البوتاسيوم ٤٠، والاورانيوم ٢٣٥ و٢٣٨، والثوريوم ٢٣٢، وبدأت درجة حرارة هذه الصخور ترتفع. وبعد مضي ملايين من السنين رفعت السخونة المتراكمة درجة الحرارة الى ما فوق نقطة انصهار السيليكات (silicates) وفيما ذابت الصخور أخذت تتمدد فانخفضت كثافتها وخف وزنها واندفعت نازحة الى الاعلى بينما غاصت المواد الاكثر كثافة الى الاسفل . وبالنتيجة أدت هذه الآلية الحركية الجديدة الى تسريع عملية التباين الطبقي لباطن الارض المبني على الكثافة ، التي كانت قد ابتدأت اثناء مرحلة التنامي التراكمي.

أدت الحرارة الى تحرير المكونات المتطايرة المحتبسة في الروابط الكيميائية فخلقت هذه بدورها ضغوطا هائلة تحت السطح الصخري الضعيف ، وبمرور الزمن بدأت القشرة الخارجية تعجز عن احتواء غليان الاوار في الباطن فتصدعت وتفتحت في شقوق واخاديد وانتفثت المتطايرات والمواد المنصهرة الى الخارج في ثورانات واندلاعات بركانية وينابيع حارة. وتحررت غازات الاوكسجين والهيدروجين والنيتروجين والكربون المنجمدة منذ عهد بعيد في مؤتلفات (combinations) لا متطايرة مع المعادن بمثابة اوكسيدات وهيدرات ونتريدات وكربيدات (oxides, hydrates, nitrides, carbides) ، تحررت من العناصر اللاغازية وانتفثت وترشحت الى السطح حيث بدأت تكون جوا .



وهنا أخذ كل الاوكسجين الطليق يتفاعل بسرعة مع الغازات المنقوصة ليكون الماء، وتألف الغلاف الغازي الذي بدأ يتشكل حول الكوكب من الهيدروجين والنيتروجين وبخار الماء وأول وثاني اوكسيد الكربون وحامضي الكبريت والكلورين. وتحرر الفسفور الملتصق بالصخور بمثابة الفلز اباتيت (apatite) بفعل الحرارة الشديدة وانتفث الى السطح مع الارمدة البركانية ليتفاعل بسرعة مع الماء.

وتحت السطح الحار بدأ المرجل يتمخض في تيارات انتقالية عظيمة تحمل الحرارة والمواد الاخف الى أعلى نحو الخارج فتهبط الصهارة الكثيفة من الحديد والنيكل الى الاسفل نحو مركز الارض ، وارتفعت العناصر المشعة الملتصقة انتقائيا بالشبيكة البلورية للفلزات الاقل كثافة وتصاعدت الى السطح. في هذه المرحلة لم تكن توجد اية قشرة متضحة بعد ، انما كان هناك مجرد سطح خارجي للكتلة التي لما تزل تتسق، اما اللب الباطني الذي كان يزداد سخونة بفعل حرارة التفسخ الاشعاعي من الاعلى وضغط الجاذبية الهائل ، فانه بدأ ينمو ويكبر مع نزوح الحديد المنصهر الى الباطن.

لم يكن السطح مستقرا كما هو عليه اليوم بتألفه من مواد أخف وزنا، واستمر في الانهيار والخسوف الى الاسفل ليزيح الصهارة التي تدفقت الى السطح وانصبت عليه في سيول عظيمة من اللابا ، وأخذت الصخور الذائبة التي وصلت الى السطح تتجسأ وتتصلب بشكل البازلت (basalt) الناعم الملمس ، وهو صخر بركاني اسود فحمي الى أربد قاتم في اللون ، بينما تألفت الفلزات الرئيسة من بيروكسين سيليكات الفيرو مغنيسيوم (ferromagnesium silicate pyroxene) والبلاجيوكلاز المتضمن للكالسيوم (calcium-bearing plagioclase)

كانت الارض كدسا متجمعا من المواد الصخرية التي كانت أغلب مكوناتها



الفلزية تتألف من سيليكات الحديد ، والالمنيوم ، والمغنيسيوم، والكلسيوم، والصوديوم، والبوتاسيوم. كما كانت اوكسيدات الحديد موجودة ايضا وكذلك الاباتيت ، وهو فلز فوسفات الكلسيوم . شكلت فقط اربعة عناصر، وهي الحديد والاوكسجين والسيليكون والمغنيسيوم ثلاثة وتسعين بالمائة (٩٣٪) من مجموع الوزن ، ونزح أغلب الحديد الى مركز الارض بينما اصبحت السيليكات هي الفلزات الرئيسة للطبقات الخارجية.

ان الصخور النارية، تلك المتبلورة من ذائب السيليكات المسمى بالصهارة (magma)، هي اقرب تشبيه لمادة الارض البدائية . والصخور يمكن أن تتألف من فلز مفرد مثل الكوارتز SiO_2، لكنها في العموم تتكون من مؤتلف من الفلزات تشكل التركيبة والخصائص الملموسة المميزة لها، وعندما تتصلب الصهارة عند السطح أو بالقرب منه يؤدي النمو البطيء لفلزاتها التكوينية الى خلق صخور غائرة أو جوفية (plutonic) التي يشكل صخر الغرانيت (granite) صنفا شائعا منها، والغرانيت هو واحد من أخف الصخور وزنا ويتضمن سيليكا أو الظر بنسبة ستة وستين بالمائة (٦٦٪) أو اكثر، بينما يتضمن صخر البازلت خمسين بالمائة (٥٠٪)، وتشكل الصخور الاندسيتية (Andesitic) السلسلة الوسيطة.

٢/١ – الفلزات الرئيسة في قشرة الارض

الفلز	الوزن بالنسبة المئوية
SiO_2	٦٠ر١٨
AL_2O_3	١٥ر٦١
CaO	٥ر١٧
Na_2O	٣ر٩١
FeO	٣ر٨٨
MgO	٣ر٥٦
K_2O	٣ر١٩
Fe_2O_3	٣ر١٤
TiO_2	١ر٠٦
P_2O_5	٠ر٣٠

المصدر : الورقة المهنية ١٢٧ (١٩٧٤) حول المسح الجيولوجي للولايات المتحدة، للسادة اف دبليو كلارك (F.W. Clarke) **وايج اس واشنطن** (H.S. Washington)

ظلت الارض حارة ماحلة طوال مئات الملايين من السنين فيما كانت البراكين والثورانات الباطنية تتفجر وتصب أدخنتها وابخرتها السامة بوتائر هائلة. لم تكن توجد أية محيطات، وكان الجو ضئيلا للغاية والسطح مقحلا ومحفرا تخدشه الشقوق والاخاديد والاندلاعات النارية المنبثقة من الباطن. كانت الارض آنذاك لتبدو للناظر جدباء ضئيلة المصير ، لكن كميات هائلة من الماء محتبسة في الصخور بشكل هيدرات (hydrates) كانت قد اخذت تتحرر وتنطلق الى الجو وتبقى هناك طالما كان السطح حارا. وبعد مضي زمن مديد للغاية ، ومع الهواء مشبعا وسطح الارض آخذ بالبرود وقعت ظاهرة جديدة.

أمطر الجو وتبخر المطر، ثم نزل مزيد من المطر . كان المطر يهتن على السطح الصخري العاري وينخر في الصخور ويتجمع في احواض او منخفضات مستوية عظمى. لكن ذلك لم يكن المطر العذب المألوف لربيع الارض، انما مطر شديد المرارة مفعم بالحوامض الناخرة منتفث من احشاء الارض، ، ومشحون بكبريتيد الهيدروجين، والكربون وكلوريد الهيدروجين. وكانت المتطايرات الرئيسة المنبثقة من البراكين تتألف من الماء وثاني اوكسيد الكربون وكلوريد الهيدروجين بنسبة ٢٠: ١:٣ على التوالي، وتضمن المطر بالتقريب مولارا واحدا من حامض الهيدروكلوريد (Molar : وحدة قياس جزيئية غرامية . ومولار من المحلول يتضمن غراما جزيئيا واحدا بالوزن من المذاب لكل لتر من المحلول).

لكن فيما كانت الامطار حامضية جالبة معها الكلوريد والبروميد والكبريتيد: وثاني اوكسيد الكربون: كانت الصخور قاعدية بالصوديوم، والبوتاسيوم ، والكلسيوم . كان المطر يذيب الصخور الى نقطة التعادل ، وحيث تبخر الماء كونت الاملاح سهولا ملحية مستوية واسعة.



وفيما استمرت البراكين بتفريغ جوف الارض من الغازات كانت بنفس الوقت تبني الجو وتخلق البحار . كان الجو منقوصا خاليا من الاوكسجين والبحار مجرد احواض تصير ضحلة تتجمع فيها الامطار. لقد تحتم مضي ما يقرب من الفي مليون سنة قبل ان يوجد الاوكسجين بكميات ملموسة ، وجاءت البحار الى الوجود فقط بالتنامي المتواصل عبر العصور من المياه المزاحة من الباطن الصخري للارض.

الجدول ٢/٢ – المواد المتطايرة الموجودة الآن على سطح الارض او بالقرب منه والتي لم تنجم عن التعرية الصخرية.

المادة المتطايرة	الوزن ($١٠^{٢٠-}$ غرام)
الماء	١٦ ٦٠٠
الكربون بصفة ثاني اوكسيد الكربون	٩١٠
الكبريت	٢٢
النيتروجين	٤٢
الكلورين	٣٠٠
الهيدروجين	١٠
بورون وبرومين وآركون وفلورين الخ	٤

المصدر : معدلة من دبليو دبليو روبي (W.W. Rubey) نشرة الجمعية الجيولوجية الامريكية ٦٢ ١١١١–١١٤٧ (١٩٥١).



وفي مستقبل يبعد الفي مليون سنة من ذلك العصر ستكون المحيطات قد بلغت خصائصها المعروفة اليوم (أنظر جدول الزمن الجيولوجي والتشكيلات الجيولوجية). لكن محيطات الارض المبكرة تألفت من المحاليل الناشئة عن التصول الحامضي للصخور البازلتية . كان الجو خاليا من الاوكسجين تسود فيه بيئات رسوبية لا هوائية مع ضغوط لثاني اوكسيد الكربون تبلغ حوالي ١٠ـ٢ر٥ جواء أو عشرة امثال مستواها اليوم (الضغط الجوي الحالي يساوي ١٤ر٦٩ رطلا (lbs) للبوصة المربعة الواحدة) وفي مثل هذه الاحوال كان (يد س) مياه البحر اكثر انخفاضا مما هو عليه في عصرنا هذا، PH= معكوس درجة تركيز ايون الهيدروجين في المحلول، والمحاليل المتعادلة لها يد قدره ٧، بينما تكون المحاليل الحامضية في يد من ٠ـ٧، وقاعدية في يد من ٧ الى ١٤)، وكانت محتوياتها من الكلسيوم اعلى، وربما كانت البحار ايضا مشبعة بالنسبة الى السيليكا أو الظر اللامتبلور او اللاشكلي (amorphous). وبالاضافة الى ايونات أخرى من الصخور البازلتية ، فان الحديد والكبرت المنقوصين كانا يكونان بنسبتيهما الموجودتين في الصخور وفقط عند تدني يد من التعادل كانت ايونات الالمنيوم تبدأ بالترسب بمثابة الهيدروكسيد وتتحد مع السيليكا لتكون سيليكات الالمنيوم المدنية الكاتيون، وطالما كان كلوريد الهيدروجين يتجاوز ثاني اوكسيد الكربون كانت البحار لتبقى متضمنة محتويات عالية من كلوريد الكلسيوم ولم تكن الكربونات (Carbonate) لتترسب مثلما فعلت في ازمنة لاحقة.

فيما كان الجو يتكون بدأت تحدث تغيرات مهمة ففي المستوى الاعلى كان الاشعاع من الشمس يفصل جزيئات الماء الى هيدروجين واوكسجين، فكان الهيدروجين يتسرب الى الفضاء الخارجي بينما تفاعل الاوكسجين

بسرعة مع الغازات المنقوصة وتحول مرة أخرى الى ماء، واستمر الفصل الضوئي يستهلك بعض الماء على هذا المنوال ، لكن لما كان الماء هو المتطاير الرئيس المندفع الى السطح بفعل الحركة البركانية ، فانه كان يتراكم بوتيرة أسرع بكثير من وتيرة استهلاكه ، وفيما كان ثاني اوكسيد الكربون ينفث من البراكين الى الاعلى تحددت كميته في الجو بفعل امتصاصه في البحار ، وبهذه الطريقة بقي مستوى ثاني اوكسيد الكربون في الجو منخفضا نسبيا.

لقد ساد الاعتقاد في العموم بأن حرارة الارض ارتفعت الى مرحلة حارة في ذلك الزمن دافعة بالماء والمتطايرات الاخرى الى جو كثيف من حيث كانت تتكاثف وتنزل في زمن لاحق بعدما كانت الارض قد بردت بما يكفي لحصول ذلك. لكن ويليام روبي[٢] (William Rubey)، الذي قام باجراء دراسة لهذا الامر ، وجد براهين مقنعة باستحالة امكان حصول ذلك مطلقا. انما بدلا من ذلك يبدو انه لم يحصل في أي زمن من تاريخ الارض قط ان وجد في الجو اكثر من مجرد كسر ضئيل من المتطايرات المنتفثة من باطن الارض.

ان كمية ثاني اوكسيد الكربون المطمور بشكل كربونات (carbonates) وكربون عضوي في الصخور الرسوبية تبلغ ستمائة ضعف (٦٠٠) أكثر من جميع الكربون الموجود في انطقة (جمع نطاق) الجو البحرية والحياتية والعليا (hydrosphere, biosphere, atmosphere). ولو كان في الجو مجرد واحد بالمائة (١٪) من ثاني اوكسيد الكربون المحتبس حاليا في الصخور لكان مستوى يد في البحار بأحجامها اليوم قد انخفض من ٨ر٢ الى ٩ر٥.

تبين ان للتوازن بين ثاني اوكسيد الكربون الموجود في الجو وذلك الممصوص في البحار أهمية عظمى للغاية ، وذلك لأن ثاني اوكسيد الكربون

الموجود في الجو يخلق ما يسمى بظاهرة المستنبت الاخضر • اذ، كالزجاج في المستنبت الاخضر ، ان ثاني اوكسيد الكربون الموجود في الجو شفاف للضوء المرئي ولكنه يمتص الاشعة دون الحمراء المولدة للحرارة • وعندما يمتص سطح الارض الضوء الساطع عليه من الشمس تقوم المواد الصلبة الساخنة فيه باعادة بث قدر كبير من هذه الطاقة بشكل اشعاع دون الحمراء غير مرئي• فاذا كان مستوى ثاني اوكسيد الكربون في جو الارض عاليا فوق العادة فانه سيجري اعادة امتصاص هذه الطاقة في الهواء بدلا من انبثاثها الى الفضاء الخارجي، وهذا يؤدي الى ارتفاع حرارة الارض • انما بامتصاص ثاني اوكسيد الكربون والحفاظ على مستوى تركيزه في الجو منخفضا (حوالي ٠٫٠٢٤٪ – اربع وعشرون من الالف بالمائة – اليوم) قد تمكنت البحار من ضبط ظاهرة المستنبت الاخضر على الارض•

لم تكن توجد اية قارات على الارض السقرية ، وتألفت القشرة فقط من السطح الخارجي للغلاف، ولم تكن العناصر المشعة قد تركزت بعد في القشرة او الغلاف الاعلى مثلما هي عليه اليوم ، وانما كانت منتشرة في جميع انحاء الغلاف غير المتباينة • مع ذلك ، كانت الحرارة المتراكمة من النوتيدات (nucleotides) على مر مئات الملايين من السنين تقوم بفلق الارض الى طبقات متداخلة متراكزة، وفيما نزحت العناصر المشعة نحو الاعلى الى القشرة الخارجية ، حملت معها قدرتها على انتاج الحرارة اقرب الى السطح، وكانت الصهارة لتتركز في طبقة انتقالية تحت السطح مثلما هي اليوم بين القشرة والغلاف الخارجي•

ولابد انه في أواخر الازمنة السقرية كان تراكم الحرارة المتولدة عن الاشعاع والذوبان الجزئي للغلاف ، وانتقال الحرارة الى الاعلى في الصهارة، قد بلغ نسبا ذروية اسفرت عن تعرض القشرة الاصلية الى تحورات في انحاء

مختلفة من الكرة الارضية ، كما ان غوص الصخور النارية وبروز اللابا شوه السطح وعجل بالتآكل فتكونت بذلك الصخور الرسوبية الاولى•

وربما لم يكن قد حان الوقت بعد لتكون الصخور البلورية الحقيقية ولم تقع في هذا الزمن عملية انتشار او اتساع القيعان البحرية التي تنفصل معها الالواح القشرية بفعل انبجاس الصهارة ، ولم يكن قد حصل بعد التباين الثابت الدائم للاغلفة التي كانت متجانسة مبدئيا ، انما تميز انقضاء الدهر السقري بانفراج التراكمات الحرارية في سيول عظمى من اللابا المنتفثة من البراكين على سطح الارض وتحت مياه البحار النامية • كانت تلك نهاية أول دهر طويل في تاريخ الارض، وهو الدهر الذي شهد تولد جو وبحار الارض، ودام ثمانمائة مليون سنة•

خلال الثلاثة آلاف وثمانمائة مليون سنة التي تلت كانت الصخور المتبلورة من الصهارة في ذلك المشهد البدائي تلعب دورا بالغ الاهمية في العلوم• في عام ١٩٦٦ بدأ فيك ماكجريجر (Vic McGregor) ، وهو خبير جيولوجي شاب من نيوزيلندة يعمل مع فرقة المسح الجيولوجي لغرينلند ، برسم خرائط تفصيلية للمنطقة الجبلية حول فيورد باسم امرليك (Amerlik) على الساحل قرب العاصمة غوتهاب• لم تكن هذه مهمة هينة • فان التنويعة العظمى للصخور وترتيباتها المتشابكة جعلت عملية تفسير التاريخ الجيولوجي امرا عسيرا• لكن بعد عدة سنين بدأ ماكجريجر بتنضيد سياق متميز من الاحداث التي كانت قد تعاقبت على مر العصور • كانت الصخور التي تم تمييزها بكونها الاقدم في تلك المنطقة هي صخور نايس اميستوك (Amistoq Gneiss) ، وهي صخور نارية قد تعرضت للاستحالة الشكلية (metamorphosis) والتشوه بفعل قوى جبارة تفعل فعلها على القشرة الارضية • وبحسب تفسير ماكجريجر ينبغي أن توجد صخور كانت قد تكونت حتى قبل صخور نايس اميستوك•

انضم ستيفان موربات (Stephan Moorbath) من اكسفورد الى ماكجريجر في صيف ١٩٧١، وبدأ الخبيران الجيولوجيان بتجميع عينات صخرية لارسالها الى انكلترة لمقايسة اعمارها بطريقة النظائر المشعة. وفي ايسوا (Isua) وهي منطقة جبلية تقع على بعد ستين ميلا شمال غرب غوتهاب مباشرة عند حافة الصفيحة الجليدية الداخلية العظمى، كانت شركة للتعدين تقوم بالتنقيب في رسوبات ضخمة من خامات الحديد ، وهي جزء من قوس عظيم من الصخور البركانية والرسوبية الشديدة الاستحالة يبلغ قطره ما بين سبعة الى خمسة عشر ميلا وبسماكة تبلغ ١٫٨ ميل. عندما وصل ماكجريجر وموربات الى الموقع رأيا ان القوس الصخري كان فوق القشرة ، أي انه كان منبسطا على سطح ومحفوفا بصخور نايس الغرانيتية مع حافات تلامس مقصوصة ومشوهة.

تم جمع عينات وارسالها الى اكسفورد للمقايسة بالروبيديوم ـ السترونشيوم (rubidium-strontium) والاورانيوم ـ الرصاص (uranium-lead) لتحديد اعمارها ، وعندما ظهرت النتائج في النهاية وجد ان عمر الصخور كان يبلغ (٣٧٦٠) ثلاثة آلاف وسبعمائة وستين مليون سنة ، وعلم ماكجريجر وموربات ان في ذلك المرتفع الموحش المقفر من الارض في الدائرة القطبية الشمالية قرب الصفيحة الجليدية العظمى حيث الصخور مكشوفة عارية بأجمعها، انهما كانا يمشيان على جزء مما ربما كان القشرة القارية الاصلية للارض[٣].

طوال فترة الدهر السقري كانت الحرارة ترشح الى السطح الموادالمتطايرة الملتصقة بالصخور ، ومعها تكون نطاق بحري ونطاق جوي بدائيان ، وبحلول زمن تكون تشكيلة ايسوا الحديدية قبل ثلاثة آلاف وسبعمائة وستين مليون سنة ، كان قد تكون على السطح ما يكفي من الماء لحصول



الامطار والتآكل والترسبات . وبانقضاء الدهر السقري دخلت الارض في الدهر الاركي.

لابد ان الردح الاول من الدهر الاركي او العتيق كان فترة التئام وترسخ عقب الانفجارات والاندلاعات البركانية العظمى التي اختتمت الدهر السقري. كان التآكل يحت ويفتت الجبال البركانية على مر مئات الملايين من السنين ويودع طبقات سميكة من الرواسب على هوامشها . وفيما كان السطح يتعرض للتعرية استمرت حرارة التحلل الاشعاعي في جوف الارض بالتراكم على نطاق واسع في جميع انحاء العالم طوال الحقبة التالية.

ثم في حوالي ما قبل ثلاثة آلاف مليون سنة حين كانت المحيطات تكسو سطح الارض بطبقة رقيقة ، تعرضت الارض لحقبة أخرى من التكون القشري. اذ بعدما انفجر الاتون الجوفي تفطرت القشرة الى شقوق وشدوخ عظيمة وأدت الصهارة الذائبة الى تقوض الاقسام المتلاصقة من القشرة وانفكاكها عن الغلاف العلوي وانزلاقها على طبقة من الصخور الذائبة في الفاصل البيني. لم تكن هذه التحركات كبيرة ، انما مجرد بقدر سنتمتر واحد او حواليه بالسنة، لكنها كانت، على مر الملايين من السنين، كافية لترغم سطح الارض ليفقد هذه الزيادة في قشرته ويحيلها بطريقة ما الى اماكن أخرى . فقد انشطرت القشرة في اماكن أخرى للتنفيس عن الضغط المتزايد وبدأ الجزء تحت الضغط ينزلق فوق الجزء المجاور ويدفع معه حافة الفلج في باطن الغلاف تحته.

وفيما غاص السطح المزاح أعمق في الغلاف أخذ يذوب بفعل الحرارة الجوفية الشديدة فتصاعدت الصخور الاخف الغنية بالسيليكا الى أعلى بينما هبطت الصخور الحديد ومغنيسية (ferromagnesian) الى الأسفل. وحيث انزلقت احدى حافات السطح تحت الأخرى نتج عن ذلك خندق عميق برزت



بالتوازي معه المواد السطحية المزاحة وارتفعت الى السطح بشكل صهارة مكونة قوسا من الجزر البركانية . ولابد ان هذه الاقواس الجزائرية ظهرت في عدد من الاماكن على وجه الارض.

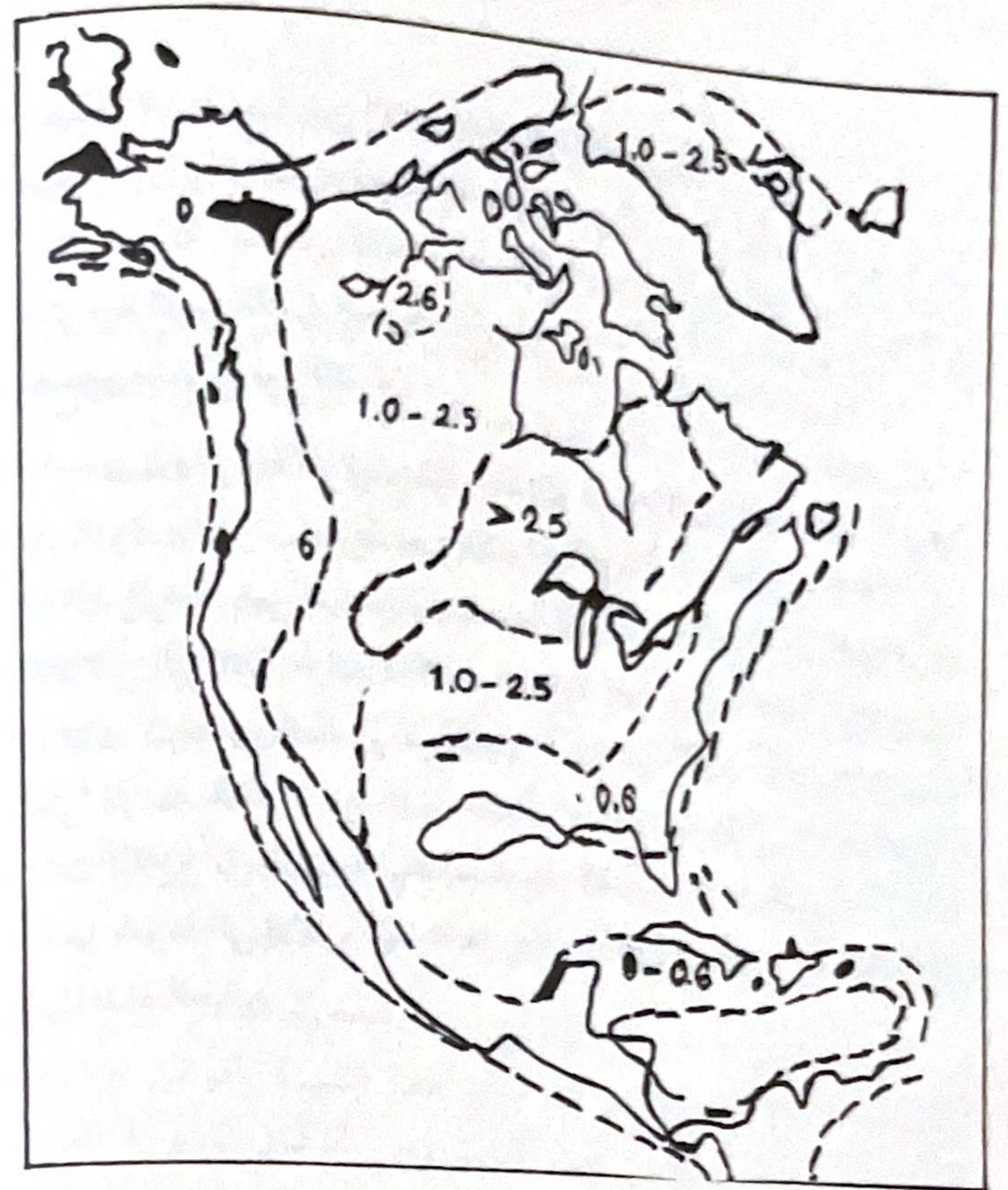
ان الصهارة المندلعة في شقوق واخاديد قشرة الارض والتي صبت كميات هائلة من اللابا أصبحت فيما بعد الصخور القاعية للدروع القارية ، ورغم ان هذه الصخور الاساسية تبلغ من العمر ثلاثة آلاف مليون سنة ، وهي مطوية ومستحالة الشكل، فانه يمكن مشاهدتها كتعاقبات طويلة من اللابا الوسادية يبلغ سمكها اميالا عديدة وتكونت بالتبرد السريع بفعل انبثاقها تحت الماء. وتوجد أدلة على ان هذه الاحزمة المعروفة بأحزمة الحجارة الخضراء بسبب مسحتها اللونية الخضراء من الكلوريت (chlorite) والهوربلند (hornblende) والايبدوت (epidote) ربما كانت مناطق قشرية انخسفت الى الاسفل بعمق ستة الى تسعة اميال بينما كانت الصخور والترسبات البركانية تتراكم طبقة فوق طبقة على مر زمن مديد.

لا يوجد مثيل معاصر للصخور في أحزمة الحجارة الخضراء بين المناطق البركانية النشطة المعاصرة رغم انها تبدي بعض الشبه بأقواس جزائرية حالية مثل جزر الكوريل في شمال اليابان وجزر ألوشان الجنوبية الغربية. في الاغلب تتألف الصخور المحيطة باحزمة الحجارة الخضراء من صخور الغرانيت ، والعديد من المناطق الاركية يتألف من تعاقبات بركانية قائمة الغور شديدة الانطواء محصورة بين كتل غرانيتية . لا يزال توزيع الماء واليابسة في الدهر الاركي غير معروف جيدا، انما الترسبات والصخور البركانية كانت تتراكم تحت الماء.

لذلك ربما كانت الاقواس الجزائرية كما تبدو عليه اليوم، مرحلة

وسيطة تطورية مهمة بين القشرة البحرية والقشرة القارية . وفيما ان القشرة البحرية بازلتية وتمثل سطح الغلاف فان القشرة القارية غرانيتية في معظمها واكثر سماكة انما أقل كثافة ، أما الاقواس الجزائرية فهي من مواد قشرية اكثر سماكة من القشرة البحرية ولكن ليس بسماكة القشرة القارية وتتألف من صخور مشتركة في القشرتين .

حصلت مرحلة أخرى للتطور القشري في حوالي اواخر الدهر الاركي. ففيما انزلقت قشرات بحرية تحت الالواح الفوقية المتراكبة ، ارتفعت الصخور الذائبة المزاحة بفعل طفوها وانتقلت الى اماكن ملائمة لها على هوامش الاقواس البركانية ، واحيانا كانت الصهارة تبرز فوق القشرة وتصب عليها تعاقبات كثيفة من الصخور البركانية ، لكنها في الاغلب كانت تبقى غائرة حتى المرحلة الاخيرة من نشوء الجبال . استمرت نشأة الجبال على مدى مئات الملايين من السنين، ثم عندما ضعف الضغط الحاصر فوق الكتلة الغائرة دفعها طفوها الى الاعلى كالفلينة من خلال القشرة في المرحلة الاخيرة الباهرة من نشأة الجبال.



الشكل ١/٢ – نمو امريكا الشمالية • تشير الارقام الى اعمار صخور الرصيف القاري بآلاف الملايين من السنين.

وبهذه الطريقة نمت القارات خطوة فخطوة من نواتها الغرانيتية ، بتراكم المواد الاخف المفلوقة من الغلاف على هوامشها، وعلى ما يظهر تمت كل عملية نشأة الجبال في غضون ستة أو سبعة أحقاب على مدى تاريخ الارض ، امد كل حقبة منها حوالي ثمانمائة (٨٠٠) مليون سنة.

أدى اندفاع الجبال على هوامش أحزمة الحجارة الخضراء الى تشوه الصخور واستحالتها بشدة، وخلق انخساف الاحزمة سهولا منخفضة تعرف باسم الدروع القارية (continental shild) وهذه هي المجنات (cratous) او النويات (nuclei) التي نمت منها القارات عبر الاحقاب المتعاقبة لنشأة الجبال • والدرع الكندي اكبر هذه الملامح ويجثم كصحن عملاق يحمل في وسطه خليج هدسون • اما الجبال فقد زالت الآن ، بعدما تفتت واندثرت حتى الجذور منذ زمن بعيد ، لكن المنطقة لا تزال باقية بمثابة مستودع فسيح للقرارات الفلزية (mineral deposits)

ان أحزمة الحجارة الخضراء المؤرخة بين ما قبل ثلاثة آلاف واربعمائة (٣٤٠٠) مليون سنة الى ألفين وخمسمائة (٢٥٠٠) مليون سنة هي أقدم احزمة الصخور المستحالة والمشوهة • ومنذ ما قبل حوالي الفين وسبعمائة (٢٧٠٠) مليون سنة فصاعدا أخذت أحواض رسوبية فردية تتكون من تحات الجبال العتيقة ، وربما ان المجنات التي كانت القارات تنمو عليها كانت تؤلف نسبة خمسة الى عشرة بالمائة (٥–١٠٪) من المساحة القارية الحالية قبل ثلاثة آلاف وثمانمائة (٣٨٠٠) مليون سنة ، لكن مساحتها أخذت تنمو ما بين الفترة ما قبل الفين وتسعمائة (٢٩٠٠) مليون سنة والفين وخمسمائة (٢٥٠٠) مليون سنة خلت الى ان بلغت نسبة خمسين الى ستين بالمائة (٥٠–٦٠٪) من المساحة الحالية، كانت قشرة الارض قد توطدت واستقرت بما يكفي قبل الفين وسبعمائة (٢٧٠٠) مليون سنة ليتيح للرسوبات لتتراكم في أحواض

كبرى دون ان تتغير الضغوط اللاحقة.

كان الجو لا يزال من دون أوكسجين اثناء فترة الدهر الاركي، ولكنه تضمن النيتروجين وربما كان محتواه من ثاني أوكسيد الكربون ما بين أربعة الى عشرة (٤-١٠) أضعاف كميته اليوم وحافظ على الجو السفلي مرتفع الحرارة للغاية، وبحسب الخبيرين الجيولوجيين بول كنوث (L. Paul Knauth) وصموئيل ابستاين (Samuel Epstein) (٤) في الدراسات التي أجرياها في معهد كاليفورنيا للتكنولوجيا باستعمال التحليل النظائري لست وستين (٦٦) عينة من الصوان (chert) مأخوذة من اواسط وغرب الولايات المتحدة، كان معدل درجة حرارة جو الارض قبل ثلاثة آلاف مليون سنة وربما لا يقل عن (٧٠°) مئوية . وهذه النتائج مبنية على قياس الوفرة النسبية لنظائر الاوكسجين والهيدروجين في ماء اماهة الخلائط الصوانية من عصور جيولوجية ماضية مختلفة . وتشير البيانات الى ان درجات الحرارة المناخية، مع بعض التقلبات ، كانت لا تزال عموما في الهبوط منذ ذلك الزمن.

دام الدهر الاركي الى ما قبل الفين وخمسمائة (٢٥٠٠) مليون سنة ، وعند انتهائه كانت القشرة مستقرة بما يكفي لتستوعب مصاطب أو ارصفة ثقيلة من الرواسب وصلبة بما يكفي لتحمل اقتحامات الصهارة، ومنذئذ فصاعدا يصبح العمود الجيولوجي خصائصيا من الرواسب الثوابتية (cratonal) مستودعة في هوامش قارية مغمورة.

وبانتهاء الدهر الاركي حل الدهر البروتيروزوئي، وهو زمن طلائع الاحياء وامتد ما يقرب من الفي (٢٠٠٠) مليون سنة منتهيا عند زمن يقع ما قبل خمسمائة وسبعين (٥٧٠) مليون سنة ، ومن هنا يبدأ الحقب الكمبري (cambrian) ، والاحافير (fossils)



الفصل الثالث

الحياة في الازمنة السابقة لما قبل الحقبة الكمبرية

منذ أوائل القرن الماضي والخبراء الجيولوجيون دائبون بهمة متواصلة على وضع تاريخ للطبقات الجيولوجية الارضية بحسب تعاقبها الزمني الصحيح، وفيما اتسعت علومهم اكتشفوا ان مجموعات فريدة من الحيوان تنتمي الى فترات معينة من الزمن دون سواها ، وبمكاملة الصخور الرسوبية في جميع انحاء العالم وترتيبها وفق سياقها النظامي مبنيا على التعاقب الحيواني تمكنوا من انشاء عمود من الاحافير عبر التتابع الزمني للتكوين الجيولوجي للارض.

كان الجيولوجي الانكليزي آدم سيجويك (Adam Sedgwic) اول من أستعمل الاسم پاليوزوئي paleozoic : او الاحائي الخاص بأحافير احياء الدهور العتيقة) في محاضرة له القاها في عام ١٨٣٨ للدلالة على الدهر في التاريخ الجيولوجي الذي ابتدأت الحياة بالتمخض فيه اعتبارا من أول الاحافير بما فيها من النباتات البرية والحيوانات البرمائية وأقدم الزواحف، وسرعان ما تبع ذلك ورود عبارة الميسوزوئي أو الدهر الاحيائي الوسيط (mesozoic) الذي شمل حيوانات الدينوصور والزواحف البحرية والطيارة، وتلته عبارة السينوزوئي (Cenozoic) كناية عن الدهر الحديث، من ثم جرى تقسيم الدهور الباليوزوئي والميسوزوئي والسينوزوئي الى أحقاب جزئية وأطلق اسم الحقبة الكمبرية (Cambriao Period) لتبتديء مع اول ظهور الاحافير قبل خمسمائة وسبعين مليون سنة من عصرنا الحاضر ، وأتبع بأحقاب جيولوجية تعاقبية يتسم كل منها بالاحافير الموجودة فيه.



رغم ان السجل الاحفوري متشظ في بعض الاحوال فانـه يوافينـا بشهادة واضحة على مبدأ النشوء التطوري، وفي العديد من الخطوط السلالية يمكن رسم التعاقب التسلسلي بتفاصيل في غاية الدقة • ان الاحافير الاكثر عتاقة من الحقبة الكمبرية تشتمل فقط على اللافقريـات، ثم تظهر في وقت لاحق فقريات شبيهة الى حدما بالاسماك تلتئم تدريجيا بالتعاقب لتصبح اسماكا حقيقية، يلي ذلك أحافير الحيوانات البرمائية والـزواحف وأخيرا الاطيـار والثدييات• من الواضح ان التتابع الزمني يرتبط بعلاقة متبادلة بأبسط اشكال الحيوانات التي تظهر في أقدم الطبقات الجيولوجية وبتصاعد في تعقيد متزايد الى وقت متأخر من التاريخ الجيولوجي•

واذ ندرس الآثار الاحفورية نجد أن طائفة حيوانات أو احياء الحقبـة الكمبرية تتضمن نماذج من كل شعبة لا فقرية هامة لكن المجموعتين الاكثر غزارة والاوسع انتشارا هما الثلاثيات الفصوص (trilobites) والعضديات الارجل (brachiopods)، تقريبا خمســة وسبعون بالمـائة (٧٥٪) من جميع الاحافير المكتشفة في الحقب الكمبري تتألف من الثلاثيات الفصوص• وقد تباينت هذه المفصليات (arthropods) التي تنتسب عن بعد الى السرطان الحدوي الحديث (horseshoe crab) في الحجم من قدر ربع بوصة (¼ انج) الى مـا يناهز قدمين اثنين وكانت تقتات على المتعضيات المجهرية في البحار وعلى الركام القاعي، غير اننا هنا نصل الى حلقة مفقودة ، اذ لا توجد اية آثار لأية أحافير فقرية أو أية نباتات او حيوانات في البر او في المياه العذبة طوال فترة السبعين (٧٠) مليون سنة التالية من الحقبة الكمبرية، أي ما قبل ٥٧٠ الى ٥٠٠ مليون سنة مضت•

لقد شكل الظهور المفاجيء لطـائفة حيوان الحقبـة الكمبرية مسألة بيولوجية كبرى• فالمتعضيات المكتشفة في هذه الحقب تؤلف أشكالا حياتية



ذات أعضاء وخواص معقدة ومتطورة كتلك التي لدى بعض ما نجده في يومنـا هذا• فضلا عن ذلك، ولزيادة المسألة غموضا ، نجد أن جميع الشعب (أي التقسيمات المبنية على ملامح تشريحية اساسية) المعروفة اليوم موجودة في الاحافير الكمبرية• وذلك جميعها ما عدا شعبة واحدة هي الحبليات (chordata) التي تؤلف شعبة الفقريات، والتي لم تظهر الا قبل حوالي اربعمائة وخمسين (٤٥٠) مليون سنة خلت• ان الشعب التي كانت موجودة ظهرت بسرعة دون أي اصل ظاهر • وبالاضافة ، لقد تضمنت اعتق المراقد الكمبرية ذات البقايا الهيكلية عديدا من مجموعات الثلاثية الفصوص والعضدية الارجل والرخويات Mollusks والشوكيات (Echinoderms) ونماذج من شعب أخرى بلغت في مجموعها نحو عشرين (٢٠) نوعا متميزا ، لكن لم تكن توجد اية دلالة على انتمائها سلاليا الى أصل مشترك ، وبقي امر منشأ نباتات وحيوانات الحقب الكمبرية سرا دفينا•

ثم في عام ١٩٤٧ فيما كان ريجنالد سبريغ (Reginald Sprigg) ، وهــو جيولوجي أوسترالي، ينقب في تلال ايدياكارا ، وهي منطقة مناجم مهجورة تبعد عن مدينة اديليد بمسافة ٣٨٠ ميلا شمالا، اكتشف بقايا أحفورية غزيرة بالسمك الهلامي (Jellyfish) في الطبقات العليا من الكواراتزيت (quartzites)• للوهلة الاولى اعتقد سبريغ انها تعود الى الحقبة الكمبرية السفلية، الا أن مزيدا من التفحص اثبت انها تعود الى زمن متأخر من الدهر البروتيروزوئي• جرى تجميع ما يقرب من ١٥٠٠ عينة أحفورية من تلك الطبقات الارضية ، تألف ثلثاها من مخططات تنم عن خصـائص الجرس السباح لرئـة البحر اللاحشائية (swimming of the coelentrate medus) ، وما يقرب من ربعها من ديدان حلقية (annelid worms) ، والباقي من متعضيات لا فقرية منقرضة(١)•

كانت تركيبة الطائفة من قبيل البيئة البحرية ، وبينت الدراسات للرواسب



الحاوية لها استيداعها في مياه ضحلة، اذ ربما ان المخلوقـات شبه الدودية عاشت في مياه ضحلة حيث كانت تخرب في الطين او تقتات على السطح، بينما لا يستبعد أن تكون رئة البحر اللاحشوية قد ضلت الى هناك من عرض البحار، ولم تظهر بينها أية علامات للافتراس كمثل تمزيق ابدان كبيرة.

وقد جرى اكتشاف بعض افراد طـائفة ايدياكارا في أماكن أخرى، فقد اكتشف تريفور فورد (Trevor Ford) الشارنيا (Charnia) في انكلترة في صخور بروتيروزوئية وبعمر يبلغ ستمائة وثمانين (٦٨٠) مليون سنة، كما تم اكتشاف أحفورة شديدة الشبه بالشارنيا في مرتفعات اولنك (Olenck) في شمال سيبريا في صخور أرخت في ما قبل ستمائة وخمسة وسبعين (٦٧٥) مليون سنة مضت.

كانت أحافير العديد من حيوانات الحقبة الكمبريـة لا فقريـة ذوات هياكل متفلزة (mineralised) . لكن هذه المتعضيات لم تظهر مطلقا في أحافير ايدياكارا التي افرزت بصمات لحيوانات لينة الابـدان أو مسالك وآثـار للافقريات العديمة الاجزاء الصلبة . وعلى ما يبدو كان هناك فترة زمنية امتدت ربما مائة (١٠٠) مليون سنة ازدهرت خلالها حيوانات لينة الابدان في البحار ، وبقدر ما هو موجـود اليوم، قبل النشوء التطـوري للاصداف والهياكل المتفلزة.

ان أهمية طائفة ايدياكارا تكمن في أن الحيوانات تنتمي الى مستوى ابسط في التطور من مستوى الشعب المكتشفة في الحقبة الكمبرية، وهذه الحيوانات لا حشوية وتمثلها اليوم الاسمـاك الهلامية وشقـائق البحـر (anemones) والمرجان (corals) واللاحشويات هي حيوانـات متعددة الخلايا في المستوى النسيجي من البناء، وهذا يعني في العموم انها عديمة الاعضاء.



والحيوانات متعددة الخلايا الوحيدة التي هي ابسط شكلا من اللاحشويات هي الاسفنجات (sponges) ، وهي حيوانات بدائية ينقصها الانتظام النسيجي الواضح وتبدي علاقات مماثلة مع بعض اصناف مستوطنـات الاوليـات الاحادية او المتماثلة الخلايا (protozoa) ، وكلاهما تنقصه الاطراف التكاملية والفم والاجهزة الهضمية ، وكلاهما يملك صنفا من التكوين الهيكلي الذي ينتج عناصر فردية أما بواسطة خلية مفردة أو مجموعـة خلايا متمـاثلة . والاسفنجات ليست جيدة الحفظ كأحافير، ألا انه قد تم العثور على عينات منها تعود الى الحقبة الكمبرية.

لقد أرجعت قياسات الطبقات حاملة الاحافير عمر الحياة الى ما قبل خمسمائة وسبعين (٥٧٠) مليون سنة ، أي الى بدايـة الحقبة الكمبريـة ومددت أحافير ايدياكارا هذا العمر الى ما قبل ستمائة وثمانين (٦٨٠) مليون سنة خلت. غير ان الطبقات الارضية ليست كلها واقعة في تعـاقب وحيد متصل في أي مكان من الارض، ولو جرى تكديس كل الطبقـات العليا لجميع العصور اعتبارا من أعتق الاحافير تكديسا رأسيا فان ارتفاع العمود سيبلغ ما يقرب من اربعمائة الف قدم أو ستة وسبعين (٧٦) ميلا!

مع ذلك، فقد كان واضحا ان الآثار الاحفورية انتقصت بشكل خطير من عمر الارض. فتحت الكمبرية تقع التشكيلات ما قبل الكمبريـة ، وهذه تتألف من طبقات من الصخور البركانية والرسوبية ذوات سماكة هائلة، تضم فترة زمنية تربو على ثلاثة آلاف (٣٠٠٠) مليون سنة، أي خمسة (٥) اضعاف الزمن منذ أعتق الاحافير . فما الذي حصل اثناء تلك الفترة الزمنية الرهيبة المديدة الى حد اللامعقول والممثلة لما يقرب من خمسة وثمانين بالمائة (٨٥٪) من تاريخ الارض قبل ان تبدأ الشعب الكمبرية باستيطان الارض؟

ان السماكة الهائلة للطبقات الكمبرية تشهـد على مضي الملايين اثر



الملايين من السنين وجدت الحياة أثناءها فقط على مستوى الاسفنجوالسك الهلامي والثلاثية الفصوص . توجد في جبال اينيو بكاليفورنيا طبقات تمتد الى عمق أربعة عشر ألف (١٤٠٠٠) قدم او ثلاثة (٣) اميال تتضمن ثلاثيات الفصوص والاركيوسيانيدات (archaeocyathids) وهذه هي صنف من الاسفنج الطباشيري المنقرض . مع ذلك، هذا العمق لا يمتد الى الحدحيث ظهرت الحياة أول ما ظهرت . كما توجد أدلة ملموسة على وجود المتعضيات الحية على الارض بزمن طويل جدا قبل حلول الحقبة الكمبرية.

ان اكتشاف أحافير ايدياكارا وغيرها التي عثر عليها تحت طبقات الحقب الكمبري الذي بدأ قبل خمسمائة وسبعين مليون سنة مضت ادى الى اقتصار تعرف الصخور الكمبرية في الطبقات الحاوية أحافير نقر بأنها تتضمن خصائص كمبرية . وفيما أجري مزيد من المسوحات الجيولوجية ، أصبح واضحا ان الاحافير الكمبرية انبثقت من آثار امتدت الى أعماق احقاب سابقة. فقد اكتشفت في المغرب طبقات تحمل الاسفنج الطباشيري تمتد الى عمق ثلاثة آلاف (٣٠٠٠) قدم تقع تحت أعمق الطبقات الكمبرية ، وهذه بدورها ترتكز على صخور جيرية (limestone) تبلغ سماكتها عشرة آلاف (١٠٠٠٠) قدم وتتضمن البقايا العتيقة من بسكوت الماء (water biscuits) وهي كتل طباشيرية تحوي حصرانا وعناقيد من آثار أحفورية ذوات الرقائق المتداخلة مركزيا والتي نمت في مياه ضحلة .

والاحافير الاكثر انتشارا وغزارة في ما قبل الحقبة الكمبرية هي البنى الملفوفية الشكل (cabbage-shaped) أو الطبقية التورق او التفرع المسماة بالستروماتولايت (stromatolites) ، وتتكون في العموم من الحجر الجيري أو من الدولوميت (dolomite= كربونات الكلسيوم والمغنيسيوم البلورية)، الا انها في بعض الاحوال تتألف من مادة ظرانية او سيليكونية (siliceous)

ربما تكونت الستروماتولات في بيئة ما بين مدية (intertidal) بنفس الطريقة التي تتكون بها اليوم بفعل السيانوبكتيريا (cyanobacteria) أو الطحالب الخضر زرقاوية (algae) . ان العديد من هذه الاحافير نصف الكروية صغير بحجم زر الثوب، لكن هناك أخرى تبلغ مساحتها آلاف الاقدام ، والقبب الستروماتولايتية العملاقة في سلسلة الحزام بالقرب من منطقة هلينا بولاية مونتانا في الولايات المتحدة تبلغ حتىخمسةعشر (١٥) قدما في سماكتها وتمتد الى مساحة آلاف الاقدام[٢].

رغم ان الستروماتولايت تكونت بأغزر وفرتها اثناء الدهر البروتيروزوئي الطويل فان ظهورها الى الوجود يرجع في الحقيقة الى الدهر الاركي، حيث العثور عليها في تشكيلة بونغولا الافريقية (Pongola Formation)المؤرخة في في حوالي ما قبل ثلاثة آلاف مليون سنة، وهذه مثل أغلبالستروماتولايت الاحفورية، لا تتضمن اية تفاصيل خلوية ، مع ذلك، فهي تشبه بنى الصنف الذي يتكون في يومنا هذا في جزر البهاما وفي خليج شارك بغرب اوستراليا[٣]، وقد تم الحصول علىتفاصيل خلوية مجهرية من ستروماتولايت جيدة الحفظ، مع العلم انه لا توجد طرائق لا عضوية معروفة من شأنها تشكيل مثل هذه البنى.

وليست الستروماتولايت الدليل الوحيد على حتمية امتداد سلالة السيانوبكتيريا الى أصل سحيق للغاية في القدم، فان الاوكسجين بذاته دليل آخر على ذاك، ان احتواء جو الارض على الاوكسجين بنسبة واحد وعشرين بالمائة (٢١٪) يشكل شذوذا في كون يتألف بنسبة خمسة وسبعين بالمائة (٧٥٪) من الهيدروجين . لقد خلقت عملية التمثيل الضوئي المحررة للاوكسجين جوا مؤكسدا رفع جميع الحياة الىوضع غير مستقر ديناميحراريا (Thermo-dynamically).

ان تأكسد المركبات العضوية تفاعل تلقائي ، ومعنى هذا هو ان جميع المدة البيولوجية ــ من دون اعداد متواصل من الطاقة ــ ستؤول في النهاية الى الحالة المتأكسدة لثاني أوكسيد الكربون والماء ، وتستديم هذه الحالة اللامستقرة بفعل امتصاص الطاقة من ضوء الشمس لاختزال ثاني أوكسيد الكربون وتحرير الاوكسجين الذي تقوم طحالب العوالق البحرية (planktonic algae) بتوليد نسبة تسعين بالمائة (٩٠٪) منه ، وتدل التقديرات على انه لو توقفت عملية التمثيل الضوئي اليوم فان جميع الاوكسجين الموجود في الجو سيتلاشى في بحر مجرد الفي (٢٠٠٠) سنة بفعل امتصاصه في الصخور غير المشبعة بالنسبة الى الاوكسجين(٤).

بالرغم من فقدان الارض لهيدروجينها الجوي البدائي فان الجو الذي تكون من انبثاق الغازات الباطنية كان ايضا منقوصا وخاليا من الاوكسجين الطليق بالمرة ، ولابد ان المتعضيات المستثلة للضوء استغرقت زمنا طويلا جدا لاكسدة مكونات نطاقي الجو البحري والعلوي قبل امكان تراكم الاوكسجين الجوي الطليق. انما توجد ادلة جيولوجية على أن الاوكسجين الطليق بدأ يتراكم في الجو منذ ما قبل الفي (٢٠٠٠) مليون سنة مضت . خلال الفترة الواقعة بين ما قبل الفين وثلاثمائة (٢٣٠٠) مليون سنة والفي (٢٠٠٠) مليون سنة مضت حصلت آخر واقعة ظاهرة للتواجد الغزير لفلزي البيريت (pyrite) والاورانيت (Uranite) (٥) الحتاتيين السهلي التأكسد ، ولو تضمن الجو آنذاك مستويات ملموسة من الاوكسجين لكان هذان الفلزان اللذان تفتتا من الصخور وتطايرا مسافات شاسعة قد تأكسدا قبل استقرارهما في الرواسب . وحقيقة عدم وجودهما في رواسب لاحقة كقرارات (deposits) حتاتية بغزارة توحي بأن الاوكسجين الجوي كان قد ابتدأ يتراكم في هذا الزمن.



وبين ما قبل الفين ومائتي (٢٢٠٠) مليون سنة والف وثمانمائة (١٨٠٠) مليون سنة خلت حصلت آخر مرحلة لترسب التشكيلات الحديدية المخططة (banded iron formation) وأعظمها حجما على الاطلاق(٦). لقد ساعدت الاحوال الاختزالية السائدة في الدهر الاركي وأوائل الدهر البروتيروزوئي على تكون الفلزات المحتوية للحديد الثنائي التكافؤ (ferrous iron) من تغير الصخور البازلتية . والفلزات المميزة الموجودة في التشكيلات الحديدية هي السيدريت (siderite) وهو كربونات الحديد (iron carbonate) ، والغرينااليت (greenalite) وهو سيليكات الحديد (iron silicate) ، والبيريت وهو كبريتيد الحديد (iron sulfide) ، ممتزجة بحجر الصوان الخام (chert) وهذا بالاصل هو الظر أو السيليكا اللاشكلي (amorphous) . لكن كثيرا ان لم يكن الاغلب من تشكيلات الحديد كانت احيائية التكون . ان أملاح الحديد الثنائية التكافؤ قابلة للذوبان نسبيا ، بينما الحديد المؤكسد غير قابل للذوبان . وقد أدى تحرير الاوكسجين من قبل المتعضيات المستثلة للضوء الى تأكسد الحديد الثنائي التكافؤ وأسفر عن قرارات من الحديد المترسب او المتساقط (precipitated) وأصبحت هذه تشكيلات حديدية مخططة ، وهي صخور فريدة تتألف من طبقات متناوبة من السيليكا الغني بالحديد والسيليكا الغث الحديد تمثل بالتعاقب رواسب متساقطة مخططة.

ليس من المؤكد فيما اذا كانت مناطق الحديد الصواني في تشكيلة ايسوا الواقعة في غرينلند(٧) البالغة من العمر ثلاثة آلاف وسبعمائة وستين (٣٧٦٠) مليون سنة او مجموعة الانفرواخت الافريقية البالغة من العمر ثلاثة آلاف وأربعمائة (٣٤٠٠) مليون سنة قد نتجت عن نشاط بيولوجي، فان الحقبة الرئيسة الاخيرة لتشكيل الحديد المخطط كانت خلال الفترة من ما قبل الفي (٢٠٠٠) مليون سنة الى الف وثمانمائة (١٨٠٠) مليون سنة خلت، وجرت اضافة الاوكسجين الى الجو بعد ذلك عندما كان الكثير أو أغلب الحديد قد



تأكسد . أما القرارات الحديدية التي تكونت في ازمنة جيولوجية اكثر حداثة ففي مراقد حمراء حيث الحبيبات الفردية مطلية بأوكسيد الحديد الثلاثي الفكافو (erric oxide) .

وهكذا يمكن اقتفاء أثر باليوكيمياء (paleochemistry) الاوكسجين الى الدهر ما قبل الكمبري في طبقات جيولوجية حمراء وحجارة جيرية. والى ذلك العهد تعود ايضا التفحمات المتضمنة لمراقد الكربون الصافي تقريبا التي اكتشفت في ميشيغان وفي فنلندة ، انه من الصعب تفسير هذه ما عدا القول بأنها في الظاهر كانت قد تكونت بفعل حياة مستثلة للضوء جيدة التنظيم ، وبالرغم من براعة بعض الادلة على أشكال الحياة الاولية ، فانه من الواضح ان هذه هي منتوجات الحياة التي قامت ما قبل الحقبة الكمبرية وليست أحافير لمتعضيات فعلية.

غير انه في اوائل الخمسينات من هذا القرن كان ستانلي تايلر (Stanley Tyler) وهو من قسم الجيولوجيا بجامعة ويسكونسن ينقب عن الحديد على سواحل ميشيغان لبحيرة سوبريور عندما عثر على مكامن فحمية عتيقة تضمنت ما بدا له انها نباتات مجهرية . فقام بعرض عينات من هذا الفحم على ويليام شروك (William Shrock) رئيس قسم الجيولوجيا في معهد ماشوسيتس ~~قنينة من الهلام تترك مفتوحة لفترة اطول مما ينبغي واقترح على تايلر ان~~ للتكنولوجيا فظن شروك ان النباتات تبدو شبيهة بالفطر الذي يتكون على قنينة من الهلام تترك مفتوحة لمدة اطول مما ينبغي واقترح على تايلر ان يعرضها على الخبير النباتي ايلسو بارغورن (Elso Barghoorn) من جامعة هارفارد.

كانت نتيجة هذه الاستشارات أن انضم تايلر وبارغورن معا في رحلة ميدانية الى الموقع لاجراء دراسة أكثر دقة ، وأدى البحث عما كان قدغضن لقفة الفحم الى عبور الاثنين الى الجانب الكندي حيث وجدا سجّيلا أسود



(black shale) وحجارة صوانية (chert) يعرفان باسم تشكيلة الصوان الوري (Gunflint Formation) ، وهي طبقة من الصخور ما قبل الكمبرية تقع على الساحل الشمالي لبحيرة سوبيريور قرب مدينة شربير بمقاطعة اونتاريو مباشرة الى الشرق من خليج الرعد. وهذا الحجر الصواني الوري مغطى بالسجيل ويعتبر في العموم ميدل هيورين أوف كنديان شيثلير نسبة الى بحيرة هيورون الواقعة في هذه المنطقة او قبيلة هيورون الهندية التي كانت تقطن هذه المنطقة).

أخذت عينات من الحجر الصواني وجرى قصها بمنشار ماسي الى شرائح رقيقة لدرجة انه بإمكان الضوء أن يتخللها . قام تايلر وبارغورن بقص اكثر من ثمانمائة (٨٠٠) شريحة رقيقة لاجراء الدراسات عليها ، وجرى استعمال حامض الهيدروفلوريك (Hydrofloric acid) لاذابة حجر الصوان المكتمن وتحرير شظايا من النباتات البدائية والفضالة العضوية من البوغات (spores) والشعيرات ، وتم فرز خمسة اشكال مورفولوجية متميزة من احياء المنطقة الحيوانية والنباتية (morphorlogical forms of biota) ، منها اثنان طحلبية واثنان فطرية (fungal) وواحد بدا انه سوطي طباشيري (calcareous flagellate) بدت هذه النباتات الدقيقة البسيطة جدا بأنها نماذج من السيانوبكتيريا واشكال بسيطة من الفطر . أرخت تشكيلة الصوان الدري هذه في ما قبل الف وتسعمائة (١٩٠٠) مليون سنة الى الفي (٢٠٠٠) مليون سنة مضت، مما جعل هذه الاحافير في ذلك الزمن من اقدم المتعضيات المحفوظة بنيويا[٨].

وفي بحث لاحق في عام ١٩٦٥ أعلن بارغورن وتايلر[٩] عن اكتشاف صفيفة (array) من الاحافير المجهرية لنماذج أخرى من تشكيلة الصوان الدري، وعرضا فيها اثنتي عشرة تجميعة من الاحافير المجهرية الشعيرية والكروية الاحادية الخلية ، وبدت الكروية من شكليتها الموفولوجية بأنها



تنتمي الى الطحالب الخضر زرقاوية القملية (coccoid blue-green algae) ، بينما انتمت الاحافير الشعيرية او الخيطية (filamentous) الى بكتيريا الحديد المسماة بالسفيروتيلاس (sphaerotilus) والسيدروكوكاس (siderococcus) . كانت هذه كلها عينات ممتازة محفوظة بتفلز البنية الخلوية في قالب سيليكوني. فهنا كانت مطمورة في حجر صواني عمره الفا (٢٠٠٠) مليون سنة بقايا المتعضيات المجهرية التي عجلت في ترسيب التشكيلات الحديد حجرية وولدت الاوكسجين الطليق الذي جعل الحياة المستقبلية في ذلك العهد ممكنة.

بعد ذلك بقليل تمكن وليام شوبف[١٠] (William Schopf) ، وهو طالب تخرج سابقا على يدي بارغورن ويعمل حاليا في جامعة كاليفورنيا في لوس انجليس، من العثور على تجمعات مختلفة من الاحافير المجهرية النباتية بأشكال شعرية وكروية جيدة الحفظ للغاية في تشكيلة النبع المر (Bitter Spring) في المقاطعة الشمالية من اوستراليا حصلت هذه الاحافير من الاحياء المجهرية (microbiota) في صخور صوانية كاربونية تقع في الطبقات العائدة الى الدهر ما قبل الكمبري المتأخر والكائنة في منطقة نهر روس في اوستراليا الوسطى، وقدر عمرها بحوالي الف (١٠٠٠) مليون سنة. كانت هذه الاحافير قد نشأت من الطحالب التي كانت على ما يظهر قد نمت كصفائح رقائقية او حصران في بيئة بحرية وكونت ستروماتولايت طحلبية واسعة الانتشار . ومن بين التسعة عشر (١٩) نوعا التي عثر عليها شوبف كانت اربعة عشر منها من فصائل طحلبية معاصرة. فقد كانت الطحالب الخضر زرقاوية الشعيرية منها والكروية القملية منتشرة على نطاق واسع آنذاك ولابد انها كانت ايضا متنوعة للغاية في هذا الزمن ما قبل الف مليون سنة خلت.

على ما يظهر ان هذه السانوبكتيريا كانت مزدهرة فيما قبل الفي مليون سنة خلت ويحتمل كثيرا انها هي المسؤولة عن الستروماتولايت البولاوائية

(Bulawayan) الكائنة في زيمبابوي التي تكونت في ما قبل الفين وستمائة (٢٦٠٠) مليون سنة ، وايضا الستروماتولايت البونغولية (Pongolan) التي يمتد أصلها الى ما قبل ثلاثة آلاف ٣٠٠٠ مليون سنة خلت. ومهما تكن هذه النباتات ضاربة في البساطة فلابد انها كان لها اسلاف تواجدت حتى في ما قبل زمنها، متعضيات مجهرية أكثر عتاقة حتى من اقدم الطحالب الخضر زرقاوية . ومن هنا اصبح احد اهداف الدراسة الباليونتولوجية اجراء البحوث لدفع الآثار الاحفورية الى الوراء وتقريبها قدر المستطاع من اللحظة الاولى التي بدأت فيها الحياة على الارض.

في عام ١٩٦٥ كان بارغورن يجمع أحجارا صوانية من اماكن عديدة في اراضي جبل باربرتون (Barberton) من المنطقة الواقعة في شرقي الترانزفال بجنوب افريقيا قرب الحدود السوازيلاندية حيث تجري مياه نهر اومبليزي من خلال التلال المتموجة في طريقها الى موزامبيق والمحيط الهندي. تتألف اراضي جبل باربرتون من بضع مئات من الاميال المربعة تكونت من أحزمة الحجارة الخضراء الاركية التي تمتد اعمارها الى ما قبل ثلاثة آلاف واربعمائة (٣٤٠٠) مليون سنة خلت، وتتألف سلسلة سوازيلاند من هذه التشكيلة من مجموعة شجرة التين القائمة على سلسلة الانفرواخت . يكثر الكربون على نطاق واسع في هذه التشكيلة ، كما يوجد السجيل ايضا في بعض الاماكن التي كانت قد تحولت الى صخور صفائحية بركانية نقشية (graphic schists) بفعل الاستحالة الميتامورفية او الشكلية (metamorphism) ، وبعض الحجارة الصوانية السوداء هنا تتضمن ما لا يقل عن نسبة عشرين بالمائة (٢٠٪) مواد عضوية.

قام بارغورن وشوبف بفحص مجموعة شجرة التين بالمجهر الضوئي ووجدا ان المصفوفة الصخرية (rock matrix) تتضمن العديد من الرقائق الطبقية تتألف من جسيمات قاتمة اللون معتمة تقريبا من المواد العضوية . أو

هي ارتصاف الرقائق بموازاة طبقـات الصخـر الصواني (chert) الى أن الاستيداع او الترسب (deposition) كان قد حصل في بيئة مائية • ولم يمكن رؤية أي شيء يشبه احافير المتعضيات المجهرية بالمجهر، ألا أن شوبف قـام بصقل سطح المقاطع الصخرية ثم نظر اليها من خلال مجهر الكتروني، وتمكن الآن في هذا التكبير الاعظم أن يرى ما لم تسبق رؤيته قبلاه فقد وجد بنى كالقضبان طولها ما بين (٥ر٠) الى (٧ر٠) مليميكرون وبأقطار قدرها (٢ر٠) مليميكرون • كانت هذه مشابهة للبكتيريا القضيبية الكسم ! كماوجد ايضا في وقت لاحق أحافير مجهرية كرية يبلغ قطرها (١٧) الى (٢٠) مليميكرون شبيهة بالطحالب الخضر زرقاوية من المجموعة القلمية الحديثة • وعلى الاجمال تم اكتشاف تسع وعشرين (٢٩) عينة واضحة المعالم في أحـافير الاحيـاء المجهرية ، وهي أحافير لما بدا انهـا بكتيريا عاشت على الارض قبل ثـلاثة آلاف (٣٠٠٠) مليون الى ثلاثة آلاف وثلثمائة (٣٣٠٠) مليون سنة مضت[١١].

بنفس الوقت كان هانز بفلوغ[١٢] (Hans pflug) من جامعة يوستوس ليبيغ بغيسن (Justus Liebig, Giessen) بألمانيا الغربية ، يقوم بفحص أحجار صوانية وسجيل من رواسب شجرة التين بحثا عن بقايا عضوية بنيوية ، وبالفعل وجد تجمعات لبقايا متعضيات في العينات المأخوذة من المنطقة الواقعة على مقربة من منجم ذهب سبأ بجوار باربرتون • وكشفت الدراسـات الكيميائيـة والنظرية للمواد العضوية ان هذه البنى تتضمن جدرانا خلوية ممـا حدى بفلوغ الى اقتراح تشابه لها بالسيانوبكتيريا الاوكالية (ocalean)، وحددت المقايسة الاشعاعية عمرها بثلاثة آلاف ومائتي ٣٢٠٠ مليون سنة•

لابد من اعتبار هذه الاحافير المجهرية من مجموعة شجرة التين تقريبا يقينا من أصل بيولوجي ويغلب الاحتمال بأنها بقايا متعضيات مجهرية شبيهـة بالطحالب أحادية الخلايا• فالتركيبة العضوية والشكلية الثابتة ومحدوديـة



مدى تباين الاحجام، والمظهر المتشابه بالاحافير المجهرية الجيدة الحفظ من أحجار الصوان الوري والطحالب الخضر زرقاويـة من تشكيلة النبع المر ، كلها أدلة قوية على شكل حياتي شبه طحالبي لا استيطاني احادي الخليـة تواجد على الارض قبل أكثر من ثلاثة آلاف مليون سنة•

وفي عمق قدره تقريبا خمسة وثلاثين الف (٣٥٠٠٠) قدم تحت مجموعة شجرة التين تقع سلسلة الانفرواخت على مساحة قدرها اربعمائة (٤٠٠) ميل مربع من الجزء الجنوبي من منطقة ارض الجبل، وتبلغ سماكة هذه السلسلة خمسين الف (٥٠٠٠٠) قدم• في عـام ١٩٦٨ أعلـن اينغل وآخـرون[١٣] (A.E.J. Engel and others) اكتشاف بنى مجهرية كروية وكأسية الكسم في هذه المجموعة من الصخور الاركية ، تراوح حجم خمسمائة وتسعين (٥٩٠) بنية ما بين ستة الى مائة وثلاثة وتسعين (١٩٣) مليميكرون بدون سيـادة أي حجم مفرد بينهاه غير ان هذا التباين البالغ ثلاثين ضعفا بدا انتشـارا أوسع بكثير مما يمكن معـه اعتباره رمزا خصائصيا لمنظومات بيولوجيـة منتظمة•

في أعقاب هذا التقرير او الاعلان قـام جيم بروكس (Jim Brooks) ومارجوري ميور[١٤] (Marjorie Muir) بتحري عينات من طبقات انفرواخـت أولا بمعالجة شرائح من الصخر غير المسحوق بنسبة عشرين بالمائة (٢٠٪) من حامض الهيدروفلوريك لهضم المصفوفة اللاعضوية ، وتمكنا من استحصال فضلة مركزة قاتمة من المادة العضوية تمثل ما بين (٢ر٠) الى (٤٨ر٠) بالمائة بالوزن من العينات• وعند معاينتها بالمجهر الالكتروني تبين ان المواد العضوية كانت بقايا أحفورية لما ظهر انه جدران خلوية لمتعضيات مجهرية تألفت من صنفين أساسيين اثنين، الاول بشكل كريات يبلغ قطرها (٧ الى ١٠) مليميكرون، والثاني بشكل شعيرات بحجم (١٥ الى ٢٠) مليميكرون ، وأظهرت أحافير



المتعضيات الحجرية هذه تشابهات مورفولوجية مع تلك المكتشفة في مجموعة شجرة التين العلوية والاكثر حداثة.



الشكل ١/٣ - احفورة مجهرية من تشكيلة انفرواخت

كشف الاستخراج والتحليل الكيميائيان للمادة العضوية المأخوذة من مجموعة شجرة التين عن احتوائها على (٠ر٠٠٣ الى ٠ر٠١٥) جزءا بالمليون من الهيدروكاربونات الاليفاتية (C15—C25: aliphatic hydrocarboons) ومقادير أكبر من البريستان (C19 C40: pristane) [١٥]. وتضمنت أحجار انفرواخت الصوانية هيدروكاربونات اليفاتية طليقة، وحوامض دهنية (fatty acid)، وبرافينات عيارية (C12—C24: n-paraffins)، وبريستان، وفيتان (phytane)[١٦]. ولما كان البريستان والفيتان من الهيدروكاربونات شبه الايسوبرينية (isoprene 9. isoprenoid هو سائل عديم اللون متطاير يستحضر من التقطير الجاف للمطاط الخام أو اصطناعيا) فان هذا يدل على ان المادة من أصل حياتي. الا انه عند قيام ناجي (Nagy)[١٧] بفحص مسامية وترشحية (porosity and permeability) حجر صوان الانفرواخت، تبين انه من الممكن ان تكون الهيدروكاربونات منتضحة (percolated) في الصخور بالتقطر من الاعلى.

مع ذلك، فقد كانت اغلب المادة العضوية في الصخور من الكيروجين (Kerogen: وهي مادة قيرية صلبة في بعض السجيل تدر البترول عند تسخينها)، وهو فضالة عسيرة الطرق كان يمكن أن تتكون في مكانها. قامت دوروثي اوهلر[١٨] (Dorothy Ohler) بتحليل الكيروجين بطريقة مختلفة اثناء عملها على اطروحتها مع شوبف بجامعة كاليفورنيا بلوس انجلوس، وأبدت المتعضيات المستمثلة للضوء تفضيلا لـ $^{12}CO_2$ على $^{13}CO_2$ عند امتصاصها لثاني اوكسيد الكربون. وبمقايسة نسبة C^{13}/C^{12} في الكيروجين، أمكن التثبت ما اذا كان هذا قد تأتى من التمثيل الضوئي أم لا، واوحت النتائج التي حصلت عليها اوهلر بالايجاب وان الاوتوتروف (autotrophs) او الذاتيات

الاغتذاء القادرة على تثبيت ثاني اوكسيد الكربون كانت موجودة على الارض قبل اكثر من ثلاثة آلاف مليون سنة[١٩].

وباستعمال طريقة نظير الكربون (carbon isotope) قام شوبف وتلامذته بدراسة اقدم الستروماتولايت المعروفة آنذاك، وهي تلك المأخوذة من تشكيلة بولاويو، وبالنتيجة ايد هؤلاء ان هذه البنى كانت قد اختلقت بفعل المتعضيات المستمثلة للضوء، واقترح شوبف[٢٠] ان عمرها المحدد بألفين وستمائة (٢٦٠٠) مليون سنة قد يكون تقديرا في غاية التدني لزمن نشأة الطحالب الخضر زرقاوية او البكتيريا المستمثلة للضوء كمجتمعات بيولوجية متكاملة شعيرية. فقد يمتد اصل الطحالب الخضرزرقاوية أو في الاقل الاسلاف الضوءبكتيرية (photo bacterial) لجميع الطحالب الموجودة اليوم الى أقدم الاحافير المعروفة للمتعضيات المجهرية على الارض، وهي تلك المأخوذة من سلسلة انفرواخت والاحافير المماثلة لها مورفولوجيا المكتشفة في مجموعة واراوونا (Warrawoona Group) في نورثبول بغرب اوستراليا، والتي وجدت أن عمرها يبلغ ثلاثة آلاف وخمسمائة (٣٥٠٠) مليون سنة[٢١].

كما قد تم اكتشاف أحافير مجهرية مماثلة من الدهرين الاركي والبروتيروزوئي تشبه البكتيريا والطحالب الخضرزرقاوية في مقاطعةاونتاريو بكندا، وفي شرق كاليفورنيا، وفي جنوبي افريقيا، وأوستراليا الوسطى والجنوبية ، والاتحاد السوفياتي[٢٢]. انما توجد درجة من الريبة او اللامعلومية حول البنى المنتظمة التي يربو عمرها على الفي مليون سنة ، لأن المادة العضوية عادة تتجمع في كريات ، ولذلك فان هذا لوحده لا يكفي لتثبيت أصل العمر الحياتي. ومن بين البنى المجهرية الشبيهة بالاحافير والاكثر قدما من الفي مليون سنة التي تم وصفها حتى الآن، ربما ان العديد منها لم

تكن أحافير متعضيات[٢٣]. مع ذلك، فإن الستروماتولايت التي يحتمل انها من أصل طحلبي كانت مزدهرة في ما قبل ثلاثة آلاف مليون الى ثلاثة ومائةمليون سنة خلت، ويمكن ان تعود الطحالب المسؤولة عن نشوئها الى اشكال شوهدت في الصخور الرسوبية لمجموعة شجرة التين وسلسلة انفرواخت وايضا في صخور مجموعة واراوونا.

ويفترض ان هذه المتعضيات المجهرية المحتمله من الدهر الاركي كانت من نوع البروكاريوت (procaryotes) وهي ابسط شكل معروف للخلية الحية. ولابد ان خليه اليوكاريوت (Eucaryote)،وهي صنف الخلف البيولوجية الاكثر تقدما وتعقيدا الذي أدى الى نشأة جميع اشكال الحياة اللاحقة ، كانت قد ظهرت في زمن ما في الدهر ما قبل الكمبري، واذا كان بريستون كلاود (Preston Cloud)، الخبير الجيولوجي بجامعة كاليفورنيا بساناتابربارة، مصيبا في رأيه، فان خلايا اليوكاريوت ظهرت الى الوجود في فترة ما قبل الفي مليون سنة والف وثلاثمائة مليون سنة خلت.

في عام ١٩٦٦ قام كلاود والعاملون معه بتجميع عينات من الحجر الصواني الاسود الواقع في عمق ١٨٫٥ متر تحت الملامسة العلوية لأحجار دولوميت بيك سبرينغ (Beck Spring Dolomite) في شرقي كاليفورنيا ، وكشفت دراسة شرائح رقيقة منها عن وجود أحاديات الخلايا واجسام شبه بوغية شوكية جيدة الحفظ فيها. كانت هذه الاحافير لسلالة من الكمات (shapes) الشعيرية والكروية (spherical) المجهرية مشابهة لمتعضيات مجهرية محتفرة او متحجرة اقدم باستثناء فارقين مهمين اثنين ، فقد كانت هذه اكبر بكثير من الاشكال (forms) الاقدم، وبعض الاشكال الشعيرية كانت متفرعة[٢٤]. وتبين التحليلات الحديثة للاحافير المجهرية من حيث الحجم والتوزيع ان اليوكاريوت أكبر بحوالي عشرة اضعاف من البروكاريوت[٢٥].

توجد بروزات صخرية (outcrops) متضمنة للاحافير في عمـق (٢٩٠٠) متر تحت أعمق الاحافير الاثرية (trace fussils) للتوالي أواحياء الدهر الوسيط (metazoa)، وهذه اقل عمرا من الف وسبعمائة (١٧٠٠) مليون سنة. وقد جرى تنسيب هذه الى مجموعة أخرى مؤرخة بعمر يبلغ الف ومائتي مليون سنة الى الف واربعمائة مليون سنة. ان الاحافير الاكثر تعددا من اماكن مختلفـة هي تلك الخاصة بالسيانوبكتيريا الشعيرية المصنفة في الجنس (genus) الجديد المسمى بيكسبرنغيا (Beckspringia). وبعـد دراسـة النباتات المجهرية في التشكيلات ذوات الاعمار المثبتة حاول ليكاري (Licari) وكلاود درج اصل اليوكاريوت بين ما قبل الف وثلاثمائة مليون الى الف وستمائة مليون سنة خلت[٣٧].

يوجد نزاع حول زمن نشـوء اليوكاريـوت . فان هيلين تابان[٣٨] (Helen Tappan) من جامعة كاليفورنيا بلوس انجليس، تعتقد ان اليوكاريوت تواجدت في زمن تشكيلة الصوان الوري قبل الفي مليون سنة ، لكن نول وبارغورن[٢٩] (Knoll)، من جهة اخرى، ينفيان تواجد اروغانيلات (organelles) خلوية متحجرة وظهور الخلايا اليوكاريوتية قبل التوالي، غير انه اذا صح رأي بريستون كلاود ، وجيرالد ليكاري، وآخرين، حول أحافير دولوميت بيك سبرنغ، فان هذه الاحافير ستؤشر أعظم اقتحام بيولوجي في تاريخ الحيـاة على الارض، ألا وهي الخلية اليوكاريوتية.

ولا يزال سجل الاحافير متقطعا بالنسبـة الى الفترة الانتقـالية مـن المتعضيات المجهرية الاحادية الخلايا لما قبل الف مليون سنة الى احياء ايدياكارا المؤرخة في ما قبل ستمائة مليون سنة خلت، عندما ظهرت التوالي او الحيوانات المتعددة الخلايـا مع خلاياها منظمة في طبقات من النسيج، الا انه قد ظهر

اكتشاف في السنين السبعينية من هذا القرن ربما قد ساعد في اجتسار الثغرة. فقد أعلن بوين بلوزر (Bonnie Bloeser) وشوبف من جامعة كاليفورنيا بلوس انجليس ، وروبرت هورودسكي (Robert Horodyski) من جـامعة طـولان (Tulane) ووليام بريد (William Breed) من متحف شمال اريزونا[٣٠] أعلنوا عن عثورهم على أحافير مجهرية في صخور دهر ما قبل الكمبري في وادي غراند كانيون تبدو انها تنتمي الى المجموعة المتميزة لمتعضيات العوالق البحرية الاحادية الخلية المسماة بالقرنيات (chitinozoa) التي تبلغ من العمر سبعمائة وخمسين مليون ± مائـة مليون سنة ، ويعتقـد ان القرنيات من الهيتروتروف hetertroph أي العضوية الاغتذاء ، وهذا يعني انها، كباقي الحيوانـات، لا تستطيع انتاج غذائها وانما تعتمد على التمثيل الضوئي للنباتات، والقرنيات هي الهتروتروف التي تقـع بين الحيوانات المتعـددة الخلايا والطحـالب الاوتوتروفية.

الفصل الرابع ـ
عصر البروكاريوت

كانت الارض قد دارت حول الشمس اكثر من الف (١٠٠٠) مليون مرة قبل ظهور حتى ابسط اشكال الحياة التي تركت أثرا يدل على وجودها ، وكان ذلك عالما مختلفا كثيرا جدا عن عالمنا الذي نعرفه اليوم ، وتألف السطح المقحل الصخري الذي برز فوق البحار البدائية من وجه البراكين السوداء والقاتمة المعتمة . لم يتضمن الجو أي اوكسجين وتألف من النيتروجين وبعض الهيدروجين وأول وثاني اوكسيد الكربون . كانت نسبة ثاني اوكسيد الكربون أقل من واحد بالمائة (١٪) ولكنها مع ذلك كانت عشرة اضعاف تركيزها في الوقت الحاضر ، بينما كانت البحار مجرد أحواض ضحلة من الغسالة الحارة للسطح البازلتي.

تألفت الرواسب من نثار الحتات الناتج عن تآكل الصخور البازلتية في معظمها الناشئة عن أصل بركاني متساقطة في بيئة بحرية لا هوائية ، وأدت الاحوال الانتقاصية للجو والبحار الى ترشح كميات هائلة من أيونات الحديد الثنائي التكافؤ والكبريتيد الى مياه البحار . لم تبدأ البحار باتخاذ خصائصها العصرية الى أن سادت اعادة تدوير الرواسب على تآكل الصخور البازلتية وتضمن الجو قدرا من الاوكسجين المطلق. لكن هذا العصر كان آنذاك لا يزال بعيدا جدا في المستقبل.

كانت تلك بيئة غريبة نازعة ومختلفة كليا لما نعتبره اليوم ملائما للحياة . انما هذا كان مقدرا ليحصل، اذ قبل أكثر من ثلاثة آلاف واربعمائة (٣٤٠٠) مليون سنة تكتل تجمع صغير وبسيط نسبيا من المركبات العضوية في غشاء دهني وبدأ يحتضن تفاعلات بدائية ، تناسخت الخلايا التي تمكنت من



امتصاص المواد المتوفرة وتكثيفها في مركبات من البولي نوتيد (polfnucleotides) والبولي هضميتيد (polypeptides)، واتخذت طبيعة البكتيريا البدائية، ونشأ التأيض (metabolism) عن التفاعلات التي تمكنت الخلايا من استعمالها لتحليل المواد وتحويلها الى طاقة كيميائية لها ولتفاعلاتها التكاثرية • ولانجاز هذا تحتم اختزان الطاقة الكيميائية في حامل (carrier) ونقلها الى جزيئات أخرى ليتسنى تحويلها الى مشتقات منشطة • كانت مشتقات البيروفوسفات (pyrophosphates)، ولاسيما ثلاثي فوسفات الادينوسين (ATP=Adensine Triphosphates : أتب)، من المشتقات المتخذة لهذا الغرض في وقت مبكر وربما كانت الاولى مطلقاً. ومتى ما تم تكوينها، كانت هذه المشتقات المنشطة محفزة طاقوياً لاتباع التحلل التلقائي، وهي تفاعلات تنشأ وتتم ذاتياً لكنها في الاغلب تكون بطيئة ما لم يجر تحفيزها بمحفز مساعد (catalyst) •

ربما ان هذا المستوى من التطور لم يلبث أن افضى الى نشوء متعضية أخرى ملكت القدرة على ان تستمد كاربونها من الموجود الغزير من ثاني اوكسيد الكربون • لكنها لكي تتمكن من القيام بهذا كانت بحاجة الى مصدر للطاقة والى الهيدروجين، انما كلاهما كانا متعرضان بغزارة، وكل ما مست حاجتها اليه كان طرائق كيميائية تستخدمها في استخراجهما وتسخيرهما. كانت الشمس تغمر سطح الارض بكميات لا حصر لها من الاشعاع، فكانت المواد الملونة تمتص الضوء المرئي وتحوله الى حرارة، فبدلا من تبدد الطاقة الضوئية وضياعها كطاقة حرارية، كان يجري تناولها واختزانها في بنية كيميائية لفترة زمنية تكفي لاستخدامها لتوليد ثلاثي فوسفات الادينوسين (أتب) واختزال ثاني اوكسيد الكربون فيتوفر للمتعضية خزين من الطاقة حتى عندما لا تتوفر مواد تتغذى منها.



على ما يبدو ان هذه هي المرحلة التي ظهر فيها الفريدوكسين لاول مرة (Felledoxin = بروتين يتضمن حديدا يتواجد في جبيلة اليخضور- الكلوروبلاست chloroplast – وهو عامل اساسي في عملية التمثيل الضوئي). واندمجت هذه المادة البيوكيميائية المتكونة من مشبوكة (complex) من الهضميد وكبريتيد الحديد الغزير في الجهاز البيوكيميائي (biochemical system) وبقيت فيه كمكون عام شائع في الخلايا الحية منذ ذلك الحين. وقد تمكن الفريدوكسين، بصفته أحد مكونات جهاز التمثيل الضوئي (photosynthetic apparatcs)- من تقبل طاقة الضوء الممتصة في الصبغات واختزانها على مستوى الطاقة الالكترونية (electron energy level) لحين مساس الحاجة الى استخدامها لاختزال ثاني اوكسيد الكربون.

آنذاك كانت أول متعضية مستمثلة للضوء ستحتاج الى خضاب أو صبغة وفريدوكسين ومصدر للهيدروجين، ولابد أن المورد الاول للهيدروجين الى المتعضية البادئة كان المواد التي تطلبت أقل قدر من المورد توفر في المواد العضوية الواقعة في المتناول.

تشير الفرضيات الى ان الهيتروتروف (hetertroph) كانت أولى المتعضيات المختلفة في الوجود وكانت تعتاش من مؤايضة خزين من المواد العضوية، ولكنها فيما بعد استنبطت شكلا بدائيا من التمثيل الضوئي عندشحةموردها الغذائي، ولا يزال يوجد اليوم بكتيرة مختضبة تعرف باسم اثيوروداسيا (Athiorhodacea) تبدو انها منحدرة من هذه المرحلة الاولية من الحياة. وبوسع الاثيوروداسيا أن تنمو لا هوائيا كهيتروتروفة في محاليل تتضمن حامض البيوتريك (butyric acid) أو الزبديك وغيره من المغذيات العضوية باستخدام الطاقة الكيميائية التي تستمدها منها. انما بوسع هذه المتعضية ايضا ان تمتص الضوء وتقوم بعملية نقل الهيدروجين بالتحفيز الضوئي



واختزال ثاني اوكسيد الكربون ، ومصدرها (photocatalytic transfer) للهيدروجين في هذه الحالة هو المادة العضوية غير القابلة للاستنفاع.

لكن الحاجة أصبحت تتطلب مصدراً آخر من الهيدروجين عندما لم تعد المادة العضوية تتوفر بسهولة أو نضبت كليا، وهنا نشأت بكتيريا مستثملة للضوء تملك القدرةعلى استخدامكبريتيد الهيدروجين كمصدر لهيدروجينها، ولا يزال هذا الصنف من اللاهوائيات موجودا حتى اليوم بصفة بكتيرة الكبريت الارجوانية المسماة بالكروماتيوم (chromatium) وبكتيرة الكبريت الخضراء المسماة بالكلوروبيوم (chlorobium) ، وكلاهما يوجدان في البحيرات الضحلة وأخوار البحار الضحضاحة حيث يتوفر كبريتيد الهيدروجين بغزارة. وفي كل من هذين الصنفين من التمثيل الضوئي لا يحصل الاوكسجين كمنتوج جانبي.

وبما ان هذه الاشكال البكتيرية للحياة المستثملة للضوء كانت هي المتعضيات السائدة على الارض طوال مئات عديدة من ملايين السنين ، وحتما بقيت عملية تثبيت ثاني اوكسيد الكربون جارية لفترة طويلة من الزمن قبل ان تنشأ متعضيات في المستوى حيث تملك القدرة على القيام بعملية التمثيل الضوئي المحررة للاوكسجين . غير انه في الاخير، وبسبب نضوب مورد المصادر الاخرى للهيدروجين ، أو ربما مجردا بسبب محض الغزارة، تطورت متعضية بيوكيميائيا حتى اصبحت قادرة على استخراج الهيدروجين من اغزر مصادره على الارض ، الا وهو الماء. لكنها هنا تطلبت عشرة اضعاف الطاقة لاستخراج الهيدروجين من الماء مما تطلبته لاستخراجه من كبريتيد الهيدروجين ، انما مورد الماء كان لا ينضب . والمتعضية التي طورت تجزئة الماء بالتحفيز الضوئي اصبحت السيانوبكتيريا ومعها بدأ تاريخ انتاج الاوكسجين قبل ثلاثة آلاف مليون سنة خلت.

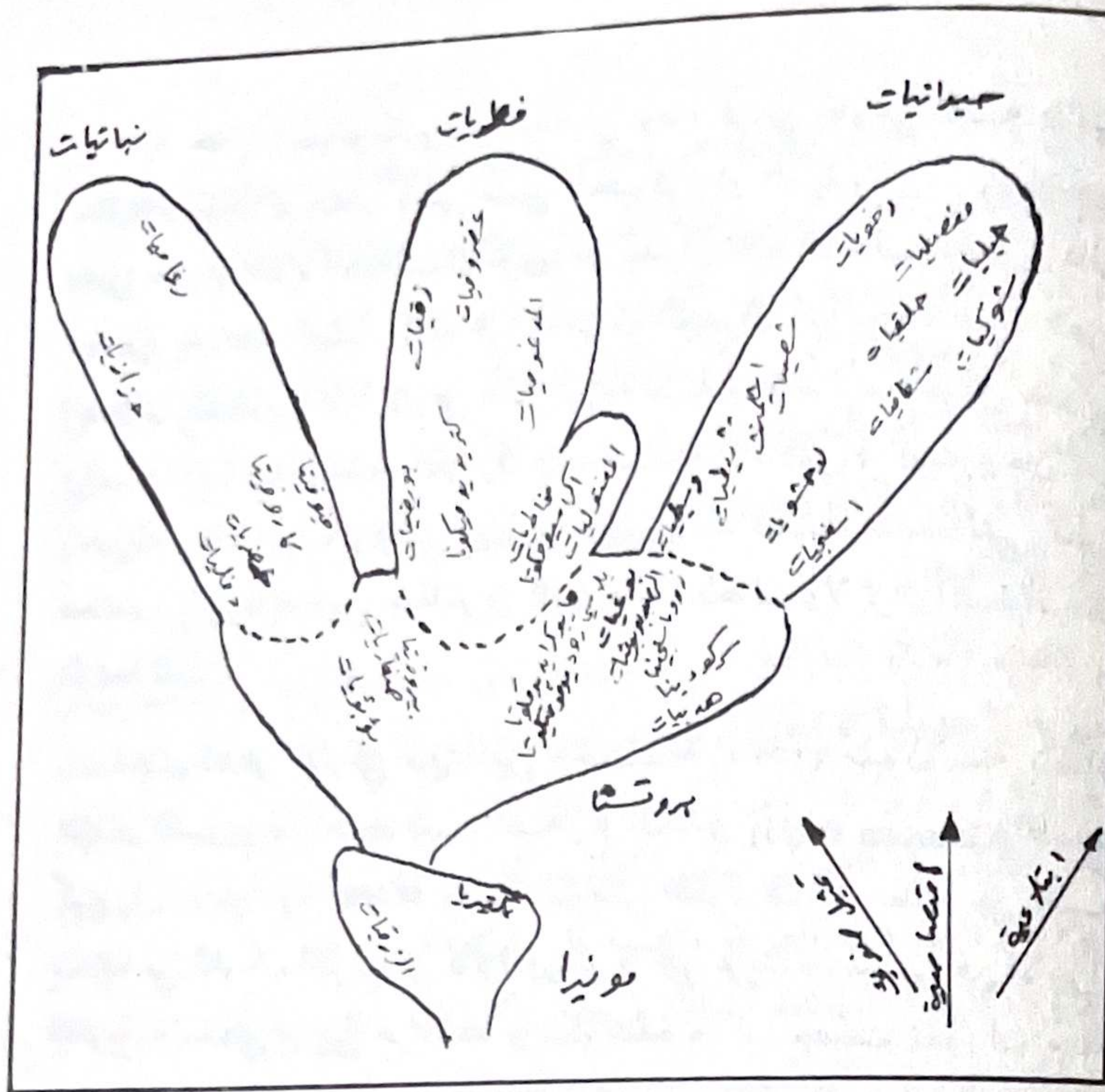


لم يتم التثبت بالضبط في أي زمن ظهرت الطحالب الخضر زرقاوية الى الوجود، لكن الدراسات بالنظير الكربوني التي أجرتها اوهلر[1] تشير الى تثبيت أو اختزال ثاني اوكسيد الكربون كان متعاصرا مع أقدم الاحافير المجهرية فيما قبل ثلاثة آلاف واربعمائة (٣٤٠٠) مليون سنة خلت، وربما استغرقت هذه العملية ملايين السنين في النشوء ولكنها مع ذلك كانت متوافق مع أقدم الاحافير. وعلى ما يظهر ان الستروماتولايت البولاويانية من زيمبابوي نشأت عن النشاط السيانوبكتيري، ولما كانت هذه مؤرخة فيما قبل الفين وستمائة مليون سنة ، فان فترة قدرها ثمانمائة مليون سنة ، وهي اطول من فترة نشوء الانسان من مستوى الاوالي أو الاحادية الخلية (protozoan) ، تكون قد انقضت من اول ظهور الحياة الى الزمن حين كانت الطحالب الخضرزرقاوية تنمو بغزارة في المياه الدافئة في بحار الدهر الاركي.

ليس ثمة شك مطلق في ان السيانوبكتيريا كانت بين اعتق اشكالالحياة التي ظهرت على الارض، ومن بين اكثرها نجاحا . وهذه المتعضيات المجهرية البسيطة لا تزال باقية حتى اليوم وتتواجد بغزارة في تجمعات المياه العذبة الضحلة كالبرك والحفر والبحيرات الضحضاحة ، وذلك اثناء ومباشرة اعقاب فترات درجات حرارة الهواء العالية . وهي لحد ما موجودة في كل مكان ،من المناطق القطبية ، وفي جميع انحاء المناطق المعتدلة ، وهي في مياه المدارين (tropics)الدافئة . كما انها، باستثناء بعض البكتيريا ، تنمو ايضا حيث تعجز عنه المتعضيات الاخرى، وذلك في مياه الينابيع الحارة التي لا تقل درجة حرارتها عن ثمانين(٨٠°) درجة مئوية[2] كالتي في نيوزيلندة وفي يلوستون بكاليفورنيا.



تنتمي البكتيريا والسيانوبكتيريا الى مرتبة خاصة من الحياة تسمى بالمونيرا (monera: النوويات) ، بينما تنتمي جميع الكائنات الحية الاخرى اما الى صنف المتعضيات المجهرية الأحادية الخلية اليوكاريوتية او الى اشكال الحياة المتعددة الخلايا اليوكاريوتية . اذ، خلاف التصنيف التقليدي الثنائي للحياة الى مملكة حيوانية وأخرى نباتية ، يستحسن تبويب العلاقات النشوئية في تصنيف خماسي الممالك، والبروكاريوت تقع بين افراد مرتبة المونيرا وتتميز ببساطة بنيتها الخلوية ، بينما جميع اشكال الحياة الاخرى هي اما خلايا مفردة يوكاريوتية او متعددة الخلايا يوكاريوتية تكون النواة والميتوكوندريون (mitochondrion) والمكونات الاخرى للخلية فيها مغلفة في غشاء. أما في البروكاريوت فالشيء الوحيد المغلف بالغشاء هو الخلية نفسها.



الشكل ١/٤ ـ التصنيف الحياتي الخماسي الممالك مبنيا على ثلاثة مستويات من التطور هي: ١ــالبروكاريوت (مونيرا) ٢ ـ الاحادي الخلية اليوكاريوتي (بروتستا) و ٣ــالمتعدد الخلايا اليوكاريوتي . وكل مستوى يتشعب الى مفترقات بالنسبة الى طريقة الاغتذاء، فالمونيرا تستخدم التمثيل الضوئي والامتصاص ، والمستويان الاعليان ينقسمان الى تمثيل ضوئي وامتصاصي وابتلاعي.

ان خلايا السيانوبكتيريا معتمدة في وعاء غروي خارجي تليـه طبقـة نشوية وسيطة ثم جدار باطني مـن الخليولوز او السيليولوز (cellulose)، وعلى جدران خلايا الطحالب الاخرى، ان جدران خلايا الطحالب الخضرزرقاوية تتضمن حوامض امينية مثلما هي الحال في الجدران البكتيرية، لقـد ظهرت الطحالب الخضرزرقاوية في زمن ميكركرزمة متينة ومقتدرة من التمثيل الضوئي، وباستخراج ثاني اوكسيد الكربون واستخـدام الماء كمورد للهيدروجين تقوم بتحويله الى نشاء سيانوفيشي (cyano-phycean) —: نشـاء حشـائشي بحري مختضب بالزرقة)، ومن جهة أخرى كانت هذه الطحالب ولا تزال ابسط النباتات المنتجة للغذاء.

اختتم الدهر الاركي قبل الفين وخمسمائة (٢٥٠٠) مليون سنة بتصاعد الجبال الذروي ، وأصبح معـه الـدرع الكندي (Canadian shield) اقليم كينوران الذي جاء كاضافة متممة لهوامش القارة النامية ممتدة من اقليم سلاف في الشمال الغربي من لابرادور شرقا عبر غرينلندة لتنتهي في الاجراف القارية للاطلنطي ما بين غرينلندة وسكوتلندة . كما حصلت تطورات مماثلة في غرب أوستراليا، وجنوب الهند، واواسط وجنوب افريقيا، والاحـواض الرسوبية الآخذة بالتكون آنذاك كانت من اصل الاغوار الكراتونية (cratonal) وذلك على نقيض الرواسب البركانية التي تكونت في أزمنة سابقة لهذا.

لقد بدأت الحياة على الارض في بيئة عديمة الاوكسجين . كان الجو يتضمن قدرا ضئيلا من الهيدروجين ، وكانت الصخور وأغلـب الفلـزات المحلولة في البحار في حالتها المنقوصة وتكافؤها الادنى، وهـذا الوضع ملحوظ على الاخص بالنسبة الى الحـديد والكبريت . ان املاح الحـديد الثنائي التكافؤ قابلة للذوبان نسبيا ، لكن الحديد المؤكسد مقاوم للذوبان، وكنتيجة لهذا ان تركيز الحديد المذاب في البحار اليوم منخفض للغاية (ويبلغ



اقل من $١٠^{-٧}$ مولار molar وهي وحدة جزيئية غرامية، و molar هي صيغة النسبة من مول mole وهي كتلة تتضمن كمية من المادة الكيميائية لها وزن بالغرام يساوي عدديا وزنها الجزيئي، والمولة (تعريبا) الواحدة من المـادة تحتوي على $٦ر٠٢٢٥٧ \times ١٠^{٢٣}$ جزيئة)، انما الوضع في الدهر الاركي كان على نقيض هذا . اما الكبريت ، وهو سريع التأكسد ، فيتواجد بوجه رئيسي ككبريتات او سلفات (sulfide) من كبريتيد الهيدروجين المذاب الناشيء من أصل بركاني.

تألفت الحياة البدائية التي نشأت في ظل هذه الظروف من متعضيـات مجهرية لا هوائية تؤايض كربوهيدراتها بالتحليل التخميري وتستخرج الطاقة المخزونة في الروابط الكيمائية عند اختزال ثاني اوكسيد الكربون الى سكاكر بفعل التمثيـل الضوئي بنفس الطريقـة التي تحصل في الخميرة (yeast) اليوم. وكانت هذه الطريقة بالنسبة الى شكل الحياة البسيط القائم في ظل الظروف البيئية السائدة آنذاك طريقة بيوكيميائية تامة ووافية بالغرض.

لكن تحرير الاوكسجين من قبل السيانوبكتيريا في تحفيزها الضوئي (photo catalysis) للماء جاء بتلويث خطر على جميع اشكال الحياة . فالاوكسجين الطليق عامل شديد التفاعل يؤكسد بسرعة المواد المختزلة ، فلزيـة كانت أم بيولوجية. وعليه ، لتفادي هلاكها بفعل فضلاتها الذاتية اضطرت الطحـالب الخضرزرقاوية الى معادلة أو محايدة الاوكسجين أو ازالته من بيئتها مباشرة فور تولده. وفي البحار الاركية كان الحديد الثنائي التكافؤ النوع الكيميائي الاكثر توفرا وتفاعلا الصالح لهذه الوظيفة، وفيما تفاعلت املاح الحـديد الثنائي التكافؤ مع الاوكسجين اخذ اوكسيد الحديد الثنائي التكافؤ المقاوم للذوبان يترسب، وعلى مر الزمن كانت نشأة الاوكسجين قد جاءت لتغـير خواص البحار . وبحلول أواخر الدهر الاركي كانت الطحالب الخضرزرقاوية



واسعة الانتشار ومزدهرة ، ومع انقضاء خمسمائة (٥٠٠) مليون سنة أخرى على ذلك، كانت تولد كمية من الاوكسجين كبيرة بما جعل الحديد الثنائي التكافؤ ينضب من البحار ، وأصبحت قرارات هائلة من حجر الصوان الحديدي الطبقات المترسب من السيليكا المترسبة ، أصبحت الخامات الحديدية الواقعة الآن في امريكا الشمالية حول البحيرات العظمى وفي لابرادور ، واقليم هلمزلي بغرب اوستراليا ، وفي موريتانيا بشمال غرب افريقيا.

كانت درجة الحرارة المناخية تنخفض ببطء الى ما دون سبعين(٧٠°) درجة مئوية في أواسط الدهر الاركي قبل ثلاثة آلاف مليون سنة . وبين ما قبل الفين ومائتي (٢٢٠٠) مليون سنة والفي (٢٠٠٠) مليون سنة دخلت الارض في احدى دوراتها البرودية وحصل أول عصر جليدي معروف. ومن ذلك الزمن فصاعدا اصبحت هذه الواقعة خاصية متكررة في تاريخ الارض.





الشكل ٢/٤ ــ السيانوبكتيريا (غليوكابسا Gloeocapsa) مكبرة (٤٠٥٠٠) الفا وخمسمائة مرة بالمجهر الالكتروني ، والصورة تبين مقطعا طوليا لخلية في حالة الانقسام . والمنطقة الباهتة الوسطية تتضمن الحامض الخلوي الصبغي (دنا DNA)، والخطوط المتراكزة المحززة هي رهائف شريحية تتم فيها عملية التمثيل الضوئي.



حصل آخر استقرار عظيم للتشكيلات الحديدية الطبقات في الفترة بين ما قبل الفي (٢٠٠٠) مليون سنة والف وثمانمائة (١٨٠٠) مليون سنة خلت. وفي أعقاب ذلك، بعدما كان الكثير او معظم الحديد قد تأكسد ، بدأ الاوكسجين يتسرب الى الجو . وتوجد بعض قرارات حجر الحديد من هذا الزمن تتضمن الاؤوليت (oolites = حجر كلسي بطرخي) وبنى أخرى تدل على تجمعات مائية ضحلة وتبين بأنها كانت من بين أقدم الخطوط الساحلية في ماضي الارض. ويمكن اليوم مشاهدة بقايا هذه في لابرادور وفي كاريليا على مقربة من الحدود بين فنلندة والاتحاد السوفيتي.

بهذا الوقت كانت انواع وأشكال الحياة المجهرية قد ازدادت تنوعا الى حد كبير، وهذا هو زمن تشكيلة الصوان الوري (Gunflint Formation) التي تركت كمية كبرى من الاحافير المجهرية البكتيرية والاشباه طحلبية . مع ذلك، كانت الحياة لا تزال على مستواها الميكروبي (microbial) ومقتصرة على البحار، وكان البر اليابس لا يزال عقيما مقفرا لا يضم حتى ابسط اشكال النبات.

ومن جهة أخرى كانت البحار تضج بالحياة . فالجهاز البيولوجي الكفء لدى الطحالب الخضرزرقاوية للاستدرار من المخزونات اللامحدودة من ثاني اوكسيد الكربون والماء وضوء الشمس لتشييد ولبناء مكوناتها العضوية مكنها من التوسع والانتشار في بقع بيئية ملائمة ومحمية من البحار . وبحلول أواسط الدهر البروتيروزوئي كانت هذه شكل الحياة السائد لدرجة يمكن معها تسمية هذا الزمن بالعصر السيانوفيشي. ورغم ان الطحالب الخضرزرقاوية بذاتها مجهرية الحجم، فانها كانت تترك في المياه الضحلة مخلفات عظيمة تشهد على تواجدها.

وبما ان المنظومات البيولوجية الاولية كانت تعيش في زمن كان جوه



معدوما من الاوكسجين فانها كانت محرومة من طبقة الاوزون لدرء الاشعة ما فوق البنفسجية القتالة عنها. وكل متعضية نجت وبقيت في الحياة في مثل هذه الظروف تمكنت من ذلك بفضل احتمائها في اماكن مستورة أو في اعماق بعيدة لم يصل اليها هذا الاشعاع، ولهذا السبب قد نشأت السيانوبكتيريا من اسلاف متكيفة للغاية للحياة في الضوء الضعيف . وفي الاخير استنبطت هذه العوالق العشبية البحرية (phytoplankton) أغمدة جلاتينية سميكة ملونة أو شفافة لتقيها شدة الضوء الباهر . عاش العديد منها في مستوطنات او كتل لا شكلية او طبقات مخاطية نشأت بفعل ذوبان وتلاحم الاغمدة الفردية . وبما انها كانت تتأثر بالضوء فقد كانت تنتقل تحت ستار أية رواسب تحجب عنها الضوء كليا ، وفيما فعلت ذلك تلاصق مخاطها وأحتجز الجسيمات في اماكنها. كان العديد منها يملك اغمدة مخاطية لزجة شكلت شبكات متخلخلة من الشعيرات تساقطت الرواسب من خلالها وخلقت أشكالا عمودية. لذلك ، بالرغم من كون هذه الطحالب الخضرزرقاوية مادة خلوية فانية ، فانها قد تركت آثارا دائمية في الستروماتوليت الواسعة الانتشار في الدهر الاركي.

بدأت اقدم قرارات كبريتات الكلسيوم تتكون قبل حوالي الف وخمسمائة (١٥٠٠) مليون سنة خلت وبالرغم من ان ايونات الكبريتات كانت قد تواجدت في حالة المحلول ربما لزمن قبل هذا التاريخ، فان هذا يدل على توفر ما يكفي من الاوكسجين الطليق الآن لاكسدة حوامض الكبريت في البحار . وبانقضاء نحو ثلاث ارباع الزمن الجيولوجي لابد ان البحار كانت في هذا الاوان قد بلغت احجامها التي هي عليها اليوم، وكانت تتخذ خصائصها العصرية.

نظرا لأن جميع الاحياء المجهرية التي قطنت البحار نشأت وتطورت في



بيئة خالية من الاوكسجين ، فانها كانت لا هوائية ، أي انها لم تستخدم التنفس التأكسدي . فهي لم تحتج الى الاوكسجين ولم ترغب فيه، وقد كان بالنسبة اليها بمثابة السم القتال . لكن مع استقرار آخر الحديد الثنائي التكافؤ في تشكيلات من الطبقات الحديدية بدأ الاوكسجين الطليق ، اعتبارا من حوالي ما قبل الف وثمانمائة (١٨٠٠) مليون سنة فصاعدا ، يتسرب الى الجو من تفاعل التمثيل الضوئي للطحالب الخضرزرقاوية . استغرق الاوكسجين الناتج عن التمثيل الضوئي أكثر من الف مليون سنة ليؤكسد جميع المواد الموجودة في نطاقي جو الارض البحري والعلوي، لكن العملية استمرت باطراد . وأخيرا شكل هذا التغير في بيئة الارض من احوال انتقاصية الى تأكسدية خطرا داهما على قاطنيها الذين ظلوا سادة الارض غير المنازعين لفترة تناهز الالفي مليون سنة.

والعديد من الاحياء التي عاشت واجهت هذا الخطر بتنمية خمائر أو أنزيمات (Enzymes) كوسائط توفيقية للاوكسجين تسمى بالاوكسيداز (oxidases) لوقاية مكوناتها البيولوجية من التلف بفعل الاوكسجين ، وربما ان بعضها نجا بالتراجع واللجوء الى بقع خالية من الاوكسجين ، وتتواجد هذه اليوم بمثابة بكتيريا لا هوائية ، لكن عصر البروكاريوت كان يشارف على الاختتام ، ووافاها مصيرها المحتوم بفعل تزايد اكسجة الماء والهواء باطراد.

لقد كان لويس باستور (Louis Pasteur) الذي اكتشف ان اللاهوائيات المقتصرة تعجز عن تحمل تركيزات اوكسجينية فوق نسبة واحد بالمائة (١٪) من المستوى الجوي الحالي. وبعد اكسدة املاح وفلزات البحار وغازات الجو المنقوصة بدأت تركيزات الاوكسجين الطليق في الهواء تتجه نحو نقطة

باستور (Pasteur Point) ، ولربما ان مستوى الاوكسجين كان قد بلغ ارتفاعا خطرا على اللاهوائيات في الجو السائد قبل ألف واربعمائة (١٤٠٠) مليون سنة خلت، عندما افضى تغير البيئة الى ظهور اليوكاريوت.

الفصل الخامس – ظهور اليوكاريوت

لا يمكن أن يعيش في الحرارة العالية السائدة في الدهر الأركي غير ابسط أنواع الخلايا ، لكن هذا المناخ كان يبرد بالتدريج وفي ما قبل الف وثلاثمائة (١٣٠٠) مليون سنة خلت كانت هذه الحرارة قد انخفضت من حوالي سبعين درجة (٧٠°) مئوية الى اثنتين وخمسين درجة (٥٢°) مئويـة ، وهي درجة الحرارة الواقعة مباشرة دون نقطة التغير التلقائي لطبيعة البروتينات المشتبكة[1] (complex proteins) ونشأت الخلية اليوكاريوتية (Eucaryotic cell) عندما كانت درجة الحرارة الكلية قد هبطت الى مستوى يتناسب مع بنيتها الجزيئية والخلوية ، كمـا كانت اليوكاريـوت (Eucaryote) ايضا افضـل استعدادا وتهيئة للتعايش مع تواجد الاوكسجين المطلق مما كانت المتعضيات اللاهوائية.

ومنذ ظهورها بين ما قبل الف واربعمـائة (١٤٠٠) مليون سنة والف ومائتي (١٢٠٠) مليون سنة خلت فصاعدا أخذت اليوكاريوت تعمل على رفع مقدرة تنظيمها الخلوي الجديد الثوروي، لكن طالما بقي الاوكسجين الجوي بنسبة أقل من واحد بالمـائة (١٪) من مستـواه اليوم، لم يكن ممكنا غير التأيض التخمري للكربوهيدرات فقط، واقتصرت على البقاء في المستوى المجهري للخميرة (yeast) •

انما بعد انقضاء خمسمائة (٥٠٠) مليون على ذلك الزمن كانت بيئـة الارض قد تعرضت لتحول ملحوظ وكانت اليوكاريوت تعكس هذا التغير فيما استمرت بنيتها الخلوية المشتبكة (complex cellular structure) تتطور الى تركيبة (composition) أكثر كفاءة ، وبحلول زمن مـا قبل سبعمائة وخمسين

(٧٥٠) مليون سنة خلت كانت قد بلغت مستوى التعقيد الموجود في القرنيات (Chitirozoans) •

كان المناخ مستمرا في البرود وكانت البحار اشبه الى حد كبير بما هي عليه اليوم• لكن اشكال الحياة الموجودة كانت لا تزال كلها مقصورة على البحار ، بينما بقيت القارات جدباء مقفرة رغم انها كانت الآن تشغل ما يقرب من ثلاثين بالمائة (٣٠٪) من مساحة الارض وتتخللها الانهار والبحيرات انما بدون أية نباتات أو حيوانات • كما كانت فترة اليوم الكامل قد امتدت الى عشرين (٢٠) ساعة مع اربعمائة واثنين واربعين (٤٤٢) يوما في السنة الواحدة[٢] ولم يعد القمر الآن تلك الكرة الرهيبة المتسلطة على سماء الليل ، فانه كان طوال العصور يتراجع عن الارض الى أن في حوالي نهاية الدهر ما قبل الكمبري كان قد امسى يبدو بحجم لا يتجاوز ضعف حجمه الحالي•

في حوالي هذا الزمن بدأت بعض الخلايا اليوكاريوتية تنبذ طرقها الوحدانية وأخذت تتجمع في مستوطنات بمثابة مجموعة سائبة العلاقات• وخلال فترة قصيرة نسبيا اتخذت المستوطنة صفة خاصة بها فيما اصبحت الخلايا الفردية أكثر اعتمادا على كونها جزءا من المجموعة • كانت الخلايا تتفاعل مع بعضها بافراز كيماويات وايونات لها اثرها في التكوين البيوكيميائي المتحكم في التناسل والمتوجات لبعضها البعض • وبهذه الطريقة أصبحت الخلايا ضمن المستوطنة متخصصة ومختلفة الواحدة عن الاخرى في المجموعة، والمستوطنات التي أحرزت افضل النجاح بهذا التعايش الجماعي في تجميع المواد الغذائية والدفاع ضد الهجمات الخارجية تطورت وخلفت النزعة الوراثية للتباين اللازمة للتنظيم الاستيطاني•

ليس هذا الوصف للاوضاع تحديسيا مجردا ، فانه توجد اليوممنظومات

حية لا تزال في هذا الطور المتوسط من التنظيم حيث تصبح الخلايات مستوطنات متحدة ومتخصصة ، ولكن ليس الى الدرجة التي يمكن معها تصنيفها كمتعضيات متعددة الخلايا • كما يوجد بين الطحالب الخضراء شكل أحادي الخلية يشتمل علىجبيلة يخضورية (chloroplast) ونقرة عينية (eyespot) وسوطين اثنين (flagella) او تتوئين خويطيين يستخدمان للتنقل وتحريك تيارات الماء• بضمن هذه الفصيلة (family) تقع الباندورينا (pandorina) التي يقوم بعضها بتشكيل مستوطنات تتألف من اربع الى اثنتين وثلاثين (٤–٣٢) خلية • وهذه المستوطنات ليست مجرد تكردسات ، لأن الخلايا تسبح بحركات متناسقة من اسواطها • والغونيوم (Gonium) فصيلة أخرىمن هذه المجموعة التي تشكل مستوطنات •

وتتميز الفولفوكس (volvox) بتشكيل المستوطنات الاكثر رقيا ، اذ يقوم هذا الجنس (genus) من السوطيات (flagellates) الخضراء الباهتة بتشكيل مستوطنة من بين خمسمائة الى خمسين الف (٥٠٠–٥٠٠٠٠) خلية مرتبة في قبة أو كرة جوفاء يبلغ طول قطرها حوالي خمس البوصة (١/٥ انج) وبينما تبدو خلايا الباندورينا والغونيوم متشابهة تصبح خلايا الفولفوكس متخصصة، فالخلايا في مقدمة الكرة تملك نقرا عينية اكبر، وبعض الخلايا فقط تنسخ نفسها، وترتبط خلايا المستوطنة ببعضها البعض بأوهان وشعيرات رفيعة من الجبلة الاولية او البروتوبلازمة (protoplasmic strands) • أما تناسخ او تكاثر المستوطنة فيتم عندما تقوم الخلايا في الخلف بالانقسام منتجة كرة صغيرة جديدة من الخلايا تطلق في باطن المستوطنة الأم، وعندما تموت المستوطنة المسنة تنفرج المستوطنات الشابة الى الخارج لتنتشر وتكرر الدورة[٣]•

من تشكيل المستوطنات كانت اليوكاريوت تعبر العتبة لتصبح التوالي

ومثلما توجد أخلاف من اغلب أو حيوانات متعددة الخلايا (Metazoa) ، توجد انواع (species) حية من هذه قاومت التغير مراحل النشوء التطوري، والتي كانت سائدة في زمن انتشار ذلك وبقيت في البقع البيئية الملائمة لها المستوى من التطور ، والاسفنج حيوان يقع في الحد الفاصل بين التطور الاحادي الخلية والمتعدد الخلايا.

يتكون سطح الاسفنج من الاكتوسومات (Ectosome =) أو الحليات الجلديه) وهو طبقة او طبقات من الخلايا تتخلله مسامات دقيقة. والبدن مخطط بقنوات عديدة تمر الى ومن الحجرات السوطية كأقماع الخياطة الصغيرة مبطنة بخلايا تحمل اطواقا قمعية الشكل. تتناول الاسفنجة القوت والاوكسجين بسحب الماء من خلال المسامات والقنوات الى الحجرات السوطية ذوات الخلايا الطوقية وتفرغه ثانية من خلال منافذ بينما تذرق الفضلات الناتجة من الهضم والتنفس بواسطة تيار الزفير.

يوجد على الساحل الشرقي لامريكا الشمالية من نوفا سكوشيا الى كارولينا الجنوبية اسفنج صغير وجد ينمو اعتياديا على محارات من نوع مايكرشيونا بروليفرا (microciona prolifera). يبدأ هذا الاسفنج الحياة كقشرة رقيقة ، ولكنه فيما يتقدم في العمر يرسل قصوصا رأسية كالاصابع لها فتحات كبيرة نوعا ما كمنافذ في منتهياتها، وتتزايد هذه التنوعات في العدد كلما تقدم الاسفنج في العمر الى أن تشكل ما يشبه بعليقة ذات فروع متضافرة، وبعض الانواع تنمو الى ارتفاع ثماني بوصات (٨ انج،) ويتغير لون هذا الاسفنج موسميا ، انما في الصيف والخريف يبقى أحمر بلون الطماطة.

في عام ١٩٠٧ قام ايج في ويلسون (H.V. Wilson)[٤] وهو خبير

بيولوجي من جامعة كارولاينا الشمالية في تشابل هيل بتقضية صيفه في مختبر مكتب مصائد الاسماك للولايات المتحدة الكائن في مرفأ بوفورت يجري البحوث على هوايته الشخصية وهي انحطاط وتجدد الانسجة الحية (tissue) وبما انه كان على البحوث بقدرات التجدد العجيبة لدى الميكروشيونا بروليفرا، فانه اعتزم على اجراء التجارب على هذه الاسفنجة الحمراء الصغيرة.

قطع الاسفنجة الى قطع صغيرة بمقص ورشح الانسجة من خلال قماش تخيل دقيق . ثم جعل هذا القماش كالكيس يضم قطع النسيج تلك وغمسه في وعاء من ماء البحر المرشح وعصره بجفت. اتضحت سحب حمراء من القماش الى الماء وبسرعة استقرت في القاع كرواسب دقيقة . وبعد تقطيع الاسفنجة وترشيح الخلايا التكوينية لها في وعاء من الماء، أخذ ويلسون يدرس بامعان سلوك الراسب.

وأثناء ما كان يراقب بدأت الخلايا تلتحم ببعضها ، وبعد فترة قصيرة كانت قد تكتلت في عدة قطاضات أو كريات صغيرة ، ثم امتدت نتوءات من الجبلة الاولية (protoplasm) او الاقدام الكاذبة (pseudopodia) الى سطح الوعاء وعندما تلامست هذه مع مجموعات أخرى من الخلايا التأمت القطاضات معا لتشكل واحدة ، وفي الاخير التحمت جميع الكريات الخلوية في قشرة واحدة مفردة ، وبدأ تمايز الخلايا . وفيما تعاقبت الايام ، ظهرت حجرات سوطية بأعداد كبيرة موصولة بقنوات تشكلت في البنية، والآن بدأت انبوبات منفذية قصيرة تنمو رأسيا من القشرة، وبعد ستة أو سبعة ايام كانت الاسفنجة الصغيرة الحمراء قد جددت نفسها.

يأتي الاسفنج في أدنى مستويات التطور للحيوانات المتعددة الخلايا . لكن التجربة كانت رائعة في التدليل على ان التوالي تنشأ من خلايا حية فردية تتجمع بالتناسق بطريقة معينة لتخلق رتبة أعلى من الحياة . كما ايدت هذه

التجربة ايضا النظرية القائلة بأن الخلية الفردية هي الوحـدة الاوليـة ذات الوظيفة التطورية.

بعد ذلك قام ويلسون باجراء التجارب على عينات من اللاحشويات (coelenterates) وهي الشعبة المعروفة على نطاق اوسع بالسمك الهلامي، وهي المرحلة الانتقالية التي أدت الى جميع شعب الحيوانات الاعلى. وبما ان بنية اللاحشويات تتألف من طبقتين من النسيج خارجيـة (Exoderm) وباطنيـة (Endoderm)، فانها أكثر تطورا من بنية الاسفنج. مع ذلك، عنـد تقطيـع متعددات الارجل (polyps) الخاصة بالهداريات (hydroids) الى شظايا وعصرها في قماش دقيق، أخذت هذه الخلايا المقطعة تتجمع ايضا وتعيد ترتيب ذاتها انتقائيا لتعيد تشكيل الحيوان الاصلي.

لم تسفر تجربة ويلسون الخلابة عن شيء يذكـر طوال الثلاثين عـامـا التالية. وفي عام ١٩٣٩ قام يوهانيس هولتفريتر(٥) (Johannes Holtfreter)، الخبير البيولوجي من معهد قيصر ويليام في برلين، بتقطيع خلايا جنين ضفدعة في محلول خال من ايونات الكلسيوم والمغنيسيوم. وعندمـا ترك الخلايا العالقة في المحلول لتسكن بلا حراك، بدأت الخلايا تنسق نفسها وفي الاخير اعـادة تكـوين الجنين الاصلي (embryo). وفي عام ١٩٥٢ قام أي وأيج موسكونا(٦) (A. and H. Moscona) باجراء هذه التجربة على أجنـة طيور، وتبعهما باحثون آخرون عملوا بنجاح على انسجة عينية من الثدييات. انمـا لاسباب سيأتي شرحها لاحقا، لا تنجح هذه التجربة الا على أجنة في مراحلها الاولية فقط.

ينمو جسم الانسان، وكذلك جسم أي فرد آخر من التوالي، من خلية واحدة، وهي خلية يجري نسخها تكرارا، أولا لتشكيل الانسجة بعمل طبقات



من نمط معين، ثم تنمو هذه الانسجة الى أعضاء (organs). وبهذه الطريقة يقوم الجنين باعادة تمثيل المراحل النشوئية للتطور التي حصلت قبل مئـات الملايين من السنين. وفي النهاية يبتني الحيوان التام البنية بكل صفاته الفردية من ملايين الملايين من الخلايا تعمل معا كوحدة واحدة. وقد قدر أن عدد الخلايا في جسم الانسان البالغ يقع بحدود عشرة تربليونات (أي عشرة مليون مليون في الحساب الامريكي، أو واحد متبوعا باثني عشر صفرا، وهو خلاف التربليون الانكليزي المتألف من واحد متبوعا بثمانية عشر صفرا)، وجميع هذه تشتق في النهاية من البويضة المخصبة الواحدة. ربما يبدو هذا الرقم كبيرا جدا، ولكنه ينشأ من فقط (٤١) جيلا من انقسام الخلية.

ان التباين أو التفاضل المتعدد الخلايا يعني زيادة كبرى في عدد الجينات (genes) لتفصح ليس فقط عن وظيفة خلية مفردة واحدة، وانما عن وظيفة المتعضية برمتها. وتنشأ وظائف الحيوانات الاعلى من تفاضل الخلايا، أي الخلايا المتخصصة لتوليد مختلف انواع الانسجة والاعضاء والعظام والشعر. ونظرا للطريقة التي نشأت بها التوالي من التكتل المنتظم لنسل خلية مفردة، فان كل خلية في الجسم تضم العدد التام من الجينـات والصبغوسومـات (chromosomes) للحيوان الكامل بأجمعه. وهي تختلف من حيث انه لا تظهر الجينات كلها، انما يجري استخدام فقط تلك الخاصة بانتاج البروتينـات الملائمة لوظيفة الخلية المعينة، وتحجب جميع المواد الجينية الاخرى في الخلية المعنية من نسخ معلوماتها بواسطة بروتينات أساسيـة تسمى بالهستونـات (histones) التي تمتزج بالجينة (gene) وتمنع استنساخها. وهكذا تمكنـت الخلايا اليوكاريوتية من انجاز وتنسيق الوظائف المختلفة من نفس الخليـة اساسا واستطاعت التقدم من المرحلة الاحادية الخلية الى أشكال من الحياة أكثر تعقيدا.



استغرق التقدم من مستوى النسيج في تطور اللاحشويات الى حيوانات ذوات اعضاء فترة من الزمن قدرها حوالي مائة وخمسين (١٥٠) مليونا من السنين ، لكن عندما تحقق الاقتحام كانت النتيجـة تفجرية • كان الصنف الجديد من نظام النسيج للتفاعل مع البيئة أكثر مرونة من اسلافـه الخـاملة نسبيا، وانتشر هذا الصنف من الحياة بسرعة في جميع انحاء العالم وساده. كانت هذه الحيوانات من المفصليات (arthropods) والرخويـات (mollusks) وغيرها ، وقد طورت هياكل أو قشور خارجية (exoskeletons) من مواد قرنية أو اقياض متفلزة (mineralised shells) لوقاية أعضائهـا وأنسجتها الطرية ، ولكنها بقيت في اعماقها البحرية الواقية ، وكانت اليابسة لا تزال مقحلة.

وفيما كانت اليوكاريوت تواصل تقدمهـا بدأت احدى أعظم السلاسل الجبلية في تاريخ الارض ، وهي سلسلة جبال الابالاجيـان الكالدونيـان (Appalachian-Caledonian) بالتكون • وبين ما قبل الف ومائة (١١٠٠) مليون سنة وسبعمائة وخمسين (٧٥٠) مليون سنة كانت فترات طويلة من الترسب قد رسخت الارصفة على هوامش امريكا الشماليـة واوربا ، لكن البحر العظيم العتيق الذي فصل الكتلتين اليابستين انكمش تحت تأثير قوى شديدة في باطن الارض التي دفعت القارتين نحو بعضهما ، وعندما اصطدمتا في النهاية تعوجت الارصفة الرسوبية المحصورة بينهما وتفتت وتطورت مندفعة الى أعلى في قمم شاهقة • وبفعل الحرارة والضغط تحول الحجر الجيري الى رخام، والسجيل الى الواح اردوازية وشستية ، والاحجار الرملية الى كوارتزيت، وكونت التداخلات الصهارية كتلا من الغرانيت • وبينما تحاتت جبال خمس أو ست احقاب أعتق من جبال الابالاجيان الكالدونيان وامحت من الوجود، بقيت سلسلة جبال الابالاجيان في شرق امريكا الشمالية وسلسلة جبال الكالدونيان في سكوتلندة ، بالرغم من تحاتها وتآكلها بفعل الماء المتواصل،

قائمة اليوم بين أقدم الجبال على الارض •

انتهى الردح الاخير من الدهر البرونيروزوئي ، الذي بدأ دافئا ورطبا ، باردا وجافا فيما امتد التجلد أو التثلج (glaciabion) فوق شرق كندا ودخلت الارض في عصر جليدي آخر• انما مع بداية الحقبة الكمبرية أخذ المناخ يعتدل ويلطف • كانت درجة الحرارة الآن تقع في حوالي أربعا وثلاثين درجة (٣٤) مئوية ، وربما كان الاوكسجين الجوي قد ارتفعت كميته عدة نسب مئوية فوق نقطة باستور ، وبدأت احياء من الثلاثيات الفصوص الشبيهة بالسرطان،الحدوي، والعضديات الارجل اللامفصلية (inarticulate brachiopods)، والرخويات البدائية (primitive mollusks)،والشوكيات الجلد (echinodermates) اسلاف السمك النجمي (starfish) ، والحلقيات (annelids) من قبيل الديدان الشدفية (segmented worms) ،والمفصليـات (arthropods) كالحرائش (أم ٤٤ (centipedes) بدأت تزحف في قيعان البحار•

تلت الحقبة الكمبرية، التي دامت فيما قبل خمسمائة وسبعين (٥٧٠) مليون سنة الى ما قبل خمسمائة (٥٠٠) مليون سنة ، الحقب الاردوفيشية (ordovician)وصحبها اتساع تشعبي كبير في اللافقريات الى أنواع وأجناس وفصائل جديدة ومختلفة • كان هذا عصر الحيوانات البحرية ذوات الهياكل والاقياض أو القشور المتفلزة ، والمرجان والسمك النجمي، والنجوم الهشة (brittle stars) ، والزنبقيات (crinoids)، التياستوطنت قيعان البحار الضحلة، وظهرت الرأسية الارجل (cephalopods)، كبعض القواقع والصدفيات المستقيمة والمنحنية والمتحوية ، الى الوجود ، ومن بينه ايضا النواتي (nautilus) الكثيرة الشبه بما هي عليه اليوم وهي ضوار رهيبة تجوب في أعماق البحار•

ومع حلـول الحقبـة الاردوفيشية قبـل خمسمـائة مليـون سنـة خلت، ومع البحار الضحلة تغطي مناطق واسعة من العالم ، بدأت النباتات البسيطة تكيف نفسها للحياة على هوامش البر اليابس • كانت هذه حالة جديدة ارتفعت فيها الخلائق الى تنمية مداعم بنيوية تعينها على مقاومة الجاذبية وجهاز مسلكي أو وعائي (vascular system) لحمل سوائلها بالاتجاه العلوي الى أجزائها المكشوفة ، ثم في حوالي ما قبل اربعمائة وخمسين (٤٥٠) مليون سنة ظهر في المياه العذبة ما هو معروف اليوم باسم كولورادو (Colorado) ، وهو حيوان ربما كان بالاصل سمك عديم الفك. لكن أحافيره نادرة ومتشظية لدرجة ان شكل الحيوان الحقيقي غير معروف • وأحافيره موجودة في الاحجار الرملية في هاردينغ (Harding) كالواح مفككة ومنكسرة من البنية العظيمة ولكنها تدل على الفصيلة المفقودة ، وهي فصيلة الجبليات ذوات الفقرات ، (chordate with vertebra) ، أسلافنا القدماء.

بما ان معظم السجلات أو الآثار الاحفورية مستمدة من أصل بحري، فان قصة التطور في المياه العذبة والبر اليابس أكثر صعوبة للتجميع والترتيب. انما على ما يظهر حصل الاستيطان في القارات أثناء الحقبة السليورية (Silurian) فيما قبل اربعمائة وعشرين (٤٢٠) مليون سنة الى ثلاثمائة وخمسة وتسعين (٣٩٥) مليون سنة خلت، والحقبة الديفونية (Devonian) في ما قبل ثلاثمائة وخمسة وتسعين (٣٩٥) مليون سنة الى ما قبل ثلاثمائة وخمسة وأربعين (٣٤٥) مليون سنة خلت. ربما بدأ هذا الاستيطان بالنباتات البسيطة وتبعتها الاحياء العنكبوتية (arachnids)، والعقارب، والالفيات الارجل millipedes • كان شمال امريكا منخفضا ومسطحا في هذا الزمن ، وذلك باستثناء الجبال والبراكين في شرقي الولايات المتحدة وكندا ، وكانت اوربا جبلية وذات أحواض قاحلة. وقد كان في حوالي ما قبل ثلاثمائة وسبعين



(٣٧٠) مليون سنة خلت قد قام أحد البرمائيين من اسلاف جميع الفقريات البرية، بما فيها الانسان نفسه، بالزحف من موطنه في المياه العذبة الى حافة ضفة نهرية ووجد نفسه انه كان في غرينلندة ، أو على الاقل هناك وجدت بقاياه الاحفورية بعد ثلاثمائة وسبعين مليون سنة من انقراضه.

أدى استيطان النباتات في البر اليابس الى حلول الحقبة الكربونية (carboniferous) التي دامت من ما قبل ثلاثمائة وخمسين (٣٥٠) مليون سنة الى مائتين وسبعين (٢٧٠) مليون سنة مضت • نمت أشجار ضخمة بعضها تسامق الى ارتفاع مائة (١٠٠) قدم في الغابات المستنقعية في جميع انحاء العديد من القارات ، كما ضمت هذه المستنقعات ايضا انساب نبات الامسوخ أو ذيل الفرس (horsetails) ، والطحالب الرواصن (club mosses) والاشجار السرخسية (tree ferns) الموجودة اليوم، وكذلك عاريات البذور الصنوبرية البدائية (primitive gymnosperms of conifers) • كانت الحشرات متنوعة ومختلفة وشملت التنين المجنح العملاق (giant dagonfly) الذي يبلغ طول جناحيه ثماني وعشرين (٢٨) بوصة، وحرائش (millipedes) بطول خمسة (٥) أقدام، والصراصير والعقارب الضخمة. أما الاحياء الثلاثيات الفصوص فكانت الآن تشارف نهاية تاريخها الطويل ، وبين الفقريات كانت ايضا الكواسج الضخمة. كما كانت البرمائية ايضا موجودة وهي اسلاف الفقريات الهوائية التنفس المنحدرة من الحقبة الديفونية ، وكذلك الجوفاء الجماجم (synapsids) ، وهذه هي أقدم الزواحف (reptiles) المعروفة.

في أثناء الحقبة البرمية (Permian) التي تلت، أي ما قبل مائتين وثمانين (٢٨٠) مليون سنة الى مائتين وخمسة وعشرين (٢٢٥) مليون سنة ، كانت الجوفاء الجماجم ضارية مفترسة في الاصل وأصبحت سائدة بكثرتها ومن



أسلاف هذه الفصيلة هي الثيرابسيد (therapsids) وهي حيوانات ضئيلة وتافهة ولكنها من الضواري آكلة اللحوم النشيطة . وخلال الحقبة الترياسية (triassic)، أي ما قبل مائتين وعشرين (٢٢٠) مليون سنة الى مائة وثمانين (١٨٠) مليون سنة نمت هذه الخلائق الصغيرة الاحجام غددا افرازية خاصة لتغذية صغارها بالحليب وأصبحت بذلك الثدييات الاولى.

أما القارات، التي كانت تسف غلاف الارض ببطء كأكلاك أو طوافات عائمة من الترابية، فانها كانت قد التحمت خلال المائة مليون سنة السابقة أو حواليها لتصبح قارة واحدة عظمى تسمى بالبانجيا (Pangaea)، لكن في أثناء الحقبة الترياسية كانت الاجزاء التي ألفت شرقي امريكا الشمالية ونيوزيلندة تشهد اندلاعات هائلة من الانفجارات البركانية، وازورت افريقيا وامريكا الجنوبية كوحدة وانفصلت من امريكا الشمالية مقسمة بانجيا بذلك الى لوراسيا (Laurasia) في الشمال وغوندوانالاند (Gondwanaland) في الجنوب، ثم انشطرت الهند وقارة القطب الجنوبي من افريقيا.

وعند حلول الحقبة الترياسية التي تلت الحقبة الجوراسية (Jurassic)، كانت الاشجار العظمية في المستنقعات التحية قد تراجعت امام أشجار الجنكية (ginkgos) والسيكاسية (cycads) والصنوبرية (conifers) . ملأت الدينوصورات (Dinosaurs) تقريبا جميع انحاء الحياة البرية، مع العديد منها بأحجام عملاقة.

ثم تكون أخدود او شرخ عميق بين امريكا الشمالية واوربا كان في البداية ضيقا صغيرا مثل البحر الاحمر أو خليج كاليفورنيا، ولكنه كان بداية المحيط الاطلسي، وارتفعت جبال امتدت من آلاسكا الى المكسيك بينما كانت الاندلاعات البركانية قائمة في الشمال الشرقي.

أما الحقبة الطباشيرية (Cretaceous) فانها شهدت ظهور النباتات المزهرة التي



كان لتكاثرها بتطاير بذورها في الهواء نتائج تفجيرية أدت الى انتشارها بسرعة في جميع انحاء العالم، وتبع النحل (Bees) في أعقابها، بينما كانت الثدييات، التي عاشت تحت رحمة الدينوصور لفترة مائة وخمسين مليون سنة، لا تزال منزوية في الهوامش الجانبية فيما تكردمت تلك العمالقة في الانقراض.

ومع تدهور الدينوصوروزواله قبل سبعة مليون سنة خلت، انتفضت الثدييات لتصبح الحيوانات السائدة في الارض، وجاءت الطاقة المركزة الكامنة في بذور النباتات المزهرة لتتيح حصول التأيض السريع للطيران وأفضت الى نشوء الطيور. وفي غرب الولايات المتحدة كانت جبال اللارامايد (Laramide)، وهي من سلاسل التكوينات الجبلية التي ابتدأت في أواخر الحقبة الديفونية (Devonian)، قد أخذت ترتفع الى أقصاها الذروي بفعل الاندساسات الصخرية الباطنية التي دمجت الحزام الهامشي بالقشرة القارية.

قبل خمسة وستين مليون سنة كانت توجد حيوانات صغيرة تقطن الغابات لها هيئة وبنية السنجاب (squirrel)، لم تكن هذه قد بلغت بعد مرحلة التخصص في تسلق الاشجار، ولكنها كانت بواكير المخلوقات العليا او المقدمات (primates)، وهي قبيلة (order) منفصلة من الثدييات (mammalia). وفي أثناء الحقب الاوليغوسينية (Oligocene) ما قبل اربعين (٤٠) مليون وخمسة وعشرين (٢٥) مليون سنة خلت تفطرت الارض عن جبال الالب والهيمالايا ومعها نشأت النمور البارزة الانياب (Saber toothed tigers) لتفترس الثدييات الراعية وتعتاش عليها.

ثم جاءت الحقبة الميوسينية (Miocene) التي امتدت من ما قبل خمسة وعشرين (٢٥) مليون سنة الى ما قبل عشرة (١٠) ملايين سنة مضت وشهدت قيام



سلاسل جبال السيرا (Sierra) والروكيز (Rockies) • وباستثنـــاء القوارض كانت جميع فصائل الثدييات المعروفة اليوم قد ظهرت الى الوجود • اشتملت الاحياء الحيوانية (fauna) على الغزلان والضباع (hyenas) والزرافات البدائية (giraffes) والبقريات (bovines) ، وبرزبينها بشكل ملحوظ كلب دعي (beardog) هائل الحجم باسم امفيسون (Amphicyon)، وانتشرت حيوانات المستـــودون (Mastodons) وهي اشباه الفيل بالشكل والحجم بائدة، الى المراعي العشبية في امريكا الشمالية لتنضم الى الخيول والجمال الناشئة فيما ازدادت حيـاة الرعي وطغت على آكلة الاغصان والاوراق•

عندما حلت الحقب البلوسينية (Pliocene) قبل عشرة (١٠) ملايين سنة خلت كانت المنطقة ما بين المدارين (tropics) باردة مصقعة وكانت الاراضي المعشوشبة واسعة الانتشار ، وفي هذا العصر بلغت الثدييات أوج أحجامها وكثرتها• وفي حوالي منتصف هذا الحقب، ما بين اربعة الى خمسة ملايين سنة خلت، ظهر كاسح (scavenger) في سهول افريقيا الشرقية لينافس الضباع هناك ما يمكنه اختطافه من فرائس الضواري الاشـد منه قوة بكثير• كان هذا من المخلوقات العليا (primates) العيارة التي بقيت ملازمة التربة فيمـا تمكنت أخرى من تطوير طريقة حياتية فوق الاشجار • كان هذا ادردا أو عديم الاسنان وتنقصه سرعة اللواحم او آكلة اللحوم ، لكن دهاءه وسلوكه الجماعي منحاه ميزة أتاحت له الاستمرار في البقاء•

وأخيرا بدأ هذا المخلوق ينحت الاحجار لاستخدامها كأسلحة وأدوات، وتدل اسنانه على انه نشأ على غذاء من الجذريات (roots) والفواكه (fruit) والنقل (nuts) وغيرها من المأكولات التي استطاع الحصول عليها• لكـن عسر هضمه ، فقد تعذر عليه اكل الفواكه الخضراء وبعض الاغذية الفجـة



كما كان يفعل قرد البابون (baboon)، حمله الى اللجوء الى استعمال النـار لتضيج الاطعمة التي تعذر عليه أكلها نية بغية توسيع موارد الغذاء المتوفرةله•

وهذا بالطبع كان الانسان نفسه ، نشأ كنوع منفصل في زمن ما قبل حوالي أربعة الى خمسة (٤–٥) ملايين سنة خلت• كانت الحياة قد تواجدت منذ أكثر من ثلاثة آلاف واربعمائة (٣٤٠٠) مليون سنة خلت، ولفترة الفين وسبعمائة (٢٧٠٠) مليون سنة ، أو ثمانين بالمائة (٨٠٪) من ذلك الزمن ، بقيت على مستوى المتعضيات الاحادية الخلية ، ولم تظهر الثدييات الىالوجود الاخلال الاثنين بالمائة (٢٪) الاخيرة من فترة تواجد الحيـاة على الارض• وقد مضى (٩ر٩٩٪) من تواجد الحياة منذ ظهورها في مجموعة شجرة التين وتشكيلة انفرواخت في جنوب افريقيا ، ولم يظهر الانسان الى الوجود الا في الواحد بالالف (١ر٠٪) الاخير من عمر الحياة على الارض•

فلماذا استغرق الانسان كل هذه المدة ليظهر؟

مـا الذي حصل خلال أكثر من الف مليون سنة مضت ، حين كانت حرارة المناخ قد أخذت تبرد ، والبحار تتأكسد ، وبدأ الاوكسجين يتراكم في الجو ، وكان من شأنه أن يؤدي الى اختلاق شكل حياتي خلوي متقدم للغاية على البروكاريوت؟ ولماذا أدى اختلاق تعـدد الخلايـا الى كل هذا التطور الانفجاري؟ ولماذا انحصرت الحياة في البحار لفترة ما يقرب من تسعين بالمائة (٩٠٪) من وجودها ، ولم تغامر في الامتداد الى اليابسة الا منذ بضع مئاتمن ملايين السنين فقط؟

ان وعينا واحساسنا بالفعل الطليق منفصلان عن خواص المواد الارضية بحيث ان محاولة الربط بينها واجتسار الفجوة العظيمة الفاصلة بين الطبيعتين تثير المخيلة وتقتدح القريحة • لكننا في محاولتنا هذه نقف ازاء منتوجات عدد



هائل من العمليات والتفاعلات الانتقـائية التي دفعت النشوء التطوري عبر ما يقرب من اربعة آلاف (٤٠٠٠) مليون سنة • وعندما تتأمل نظام تركيبتنـا البيولوجية نجد ان الطرق الى تواجدنـا لم يكن سهلا ممهـدا ، انما نشأ بمراحل أشبه بطبقات هرم مدرج، وفي قاعدة بنيتنا الخلوية تكمن مرحلة أخرى من التطور استنبطت مستواها الخاص بها من التقدم والتعقيد•

الفصل السادس
الطبيعة الخلوية للحياة

لقد عاش الانسان كنوع طوال فترة وجوده، ما عدا لحظاتها الاخيرة، مقيدا ضمن نطاق حدود أحاسيسه • انقبض من مدرج الاحجام وتقلص نحو الصغير الى ما دون الادراك، واتسع في الكبر حتى شمل الآفاق • فقد تواجد العالم البيولوجي في تنوع هائل، وكل نوع فسخ وجدد خاصيته التي كبرت في الحجم من الولادة الى البلوغ، وبدا ان ضمن أي نوع، لم يكن يوجد مكون ملموس اصغر من المتعضية بذاتها•

ان بعض المخلوقات ، مثل الحشرات الصغيرة ، بدت فعلا تظهـر فجأة كأنما كانت قد عبرت من بعد آخر• وبدون أي منشأ ملحوظ كان التولد التلقائي بالنسبة الى الدقيق المتملص اسهل للتصور من مستوى كامل من الوجود دون المرئي في قطرة من الماء• تصور، اذاً، نشوة الاحساس بالاكتشاف في احراز السبق في الانتقال من محددات عالمنا الى عـالم آخر، الى انحـاء مأهولة بمخلوقات بشعة وأجنبيـة • هكذا كانت خبرة انطون فان ليفنهوك (Anton Van Leeuwenhoek)•

كان ليفنهوك بزازا في هولندة لا يملك أي تعليم أصولي انما شغفـا شديدا بهواية سحج وصقل العدسـات • تم اختراع المجهر (microscope) في عـام ١٥٩٠ من قبـل الاخـوين الهولنديين فرنسيس وزكري يـانسن (Francis and Zachary Janssen) عندما وضعا عدسة في كل من طرفي انبوبة وحصلا على تكبير بقدر عشرة أضعاف • لكن ذلك كان ابتكارا فجا قلما أرقى من الزجاجة المكبرة• أما ليفنهوك فقد صنع عدسات من نوعية راقية ذوات بعد بؤري قصير جدا وقوة تكبيرية عالية تبلغ من خمسين (٥٠) الى مائتين

وخمس وسبعين (٢٧٥) مرة، وقدرة توضيحية تفوق المجهر المركب الاول الى حد بعيد. كان يصقل عدسات من احجام مختلفة عديدة ، بعضها لا اكبر من راس دبوس ، ويثبتها بين لوحتين نحـاسيتين رقيقتين، وفيما امعن ليفنهوك النظر من خلال عدساته في عينات من ماء المطر وماء البرك وكشيط من أسنانه، راى عالما دقيقا غريبا يعج مكتظا بالحياة .

ولأول مرة في التاريخ دخلت «الحوينات الدقيقة جدا»، كما أسماها هو عند وصفه للبكتيريا والاوليات الاحادية الخلية ، الى عالم ادراكنا الواعي. كان ليفنهوك رجلا شديد الحب للاستطلاع يملك قوى بالغة للملاحظة الدقيقة الممعنة، وقد اكتشف عالما جديدا انطلق يتحراه في كل فرصة سنحت له. رأى اشياء لم ترَ قبلا قط، ، وأخذ يشرح، في رسائل مطولة مسهبة الى الجمعية الملكية بلندن، ان السوس في الهري أو الانبار لم تكن تتولد من الحنطة بل كانت دبيا تتولد من بويضات دقيقة ، وان البراغيث تتولد بطريقة الحشرات المضادة ولم تنبت من الرمل او التراب، وان السمك الصـدفي كان يتكاثر بطريقة البيض ولم يتولد عن الرمل ، وان بلح البحر (mussels) كانت أحيـانا تأكلها حويناته الدقيقة . عكف على دراسة الدورة الدموية في الاوعيـة الشعرية في ذيل سمكة الجري، وفي القدم الوترية للضفدعة واذن الارنب، وكان يرسم في رسائله ويوضح الكريات الحمراء لشتى الحيوانات. وفي عام ١٦٧٧ وصف ولأول مره الحيينات المنوية (spermatozoa) من الحشرات والكلاب والانسان ، وظل طوال خمسين عاما يتحرى ويصف للعـالم الكون الفتـان السـاحر الذي اكتشفه في الجانب الآخر من عدساته.

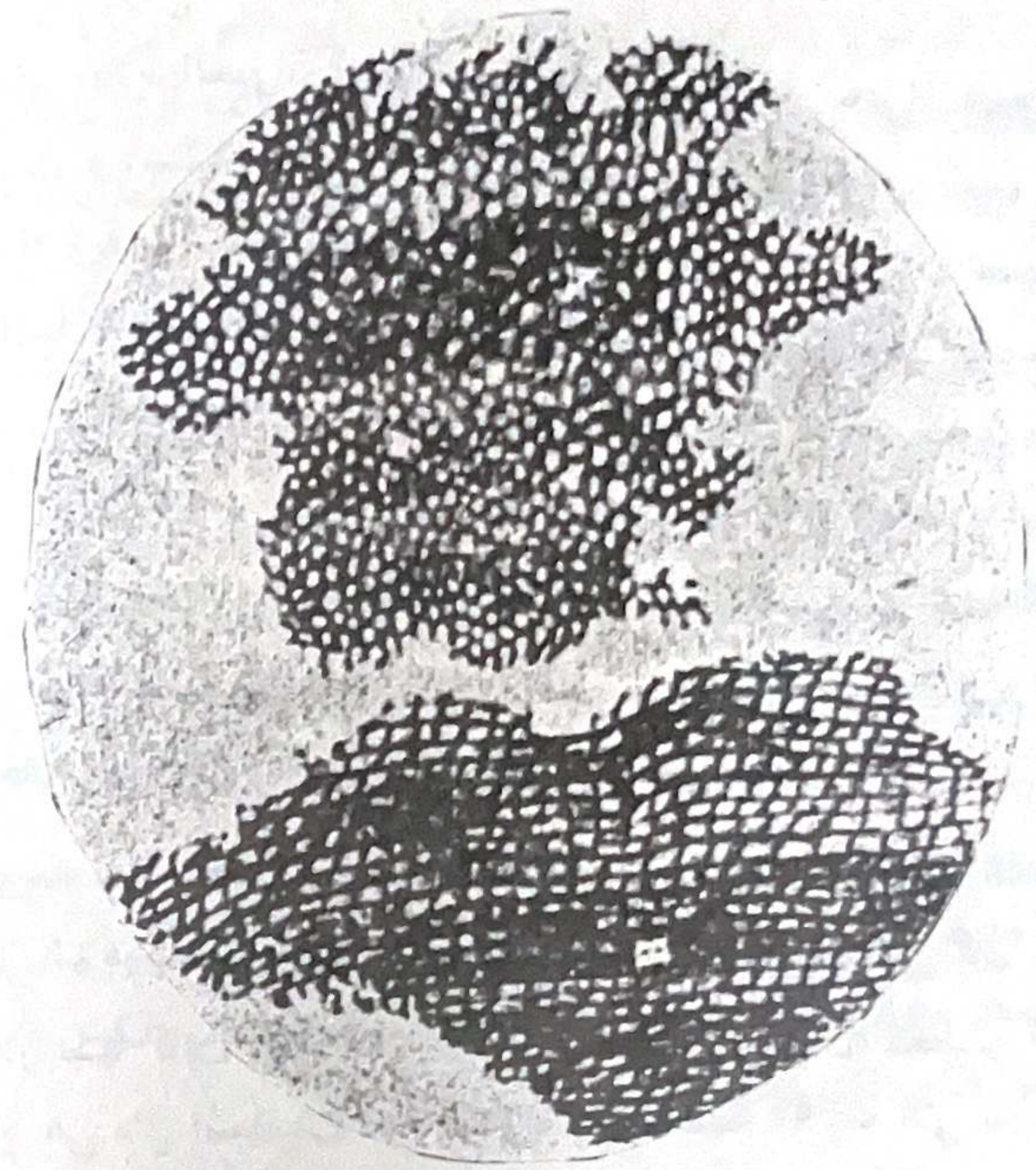
وفيما كان ليفنهوك عاكفا على دراسة عالمه الدقيق ، لاحظ روبرت هوك (Robert Hooke) بواسطة مجهر خشن اولي ذي عدسات من الزجاج المصهور، المظهر المثقب في شرائح رقيقة من الفلين وأطلق على تلك الثقوب اسم الخلايا

(cells) . لكن الذي شاهده كان جدران الخلايا، ولمدة مائة وخمسين (١٥٠) عاما ظل الاعتقاد سائدا بأن هذه الملامح تؤلف البنية الاساسية للنباتات الى أن أدرك الخبير النباتي الالماني هوغو موهل (Hugo Mohl) ان أساس الحياة لم يكن جدار الخلية الذي رآه هوك، وانما المادة الشفافة شبه السائلة الموجودة في باطن الخلية ،وأطلق على هـذه المادة اسم البروتوبلازمة (protoplasm) او الجبلة الاولية.

لكن خلايا الحيوان أصغر حجما لعدم احتوائها على جدران الخلايا كما في النبات وباستثناء بعض كالبيض والحيينات المنوية وكريات الدم، كانت اصعب للرؤية بواسطة المجاهر الاولية ، وتعذر اجراء أية دراسات تفصيليـة دقيقة للخلايا الحيوانية الى أن قام ليستر (Lister) باختراع المجهر الماصح أو اللالوني في عام ١٨٢٧. وبعد اربع سنـوات من ذلك تمكن روبرت براون (Robert Brown) من لمح هنة او هباءة قاتمة في جبلة خلايا النبات واكتشف النواة (nucleus). ثم أدرك ماثياس شلايدن (Mathias Schleiden) في المانيا ان النواة لها علاقة بانقسام الخلية واكتشف ان هذه هي الطريقة التي تتأتى بها الخلايا من الخلايا الموجودة قبلا، أي ان الخلايا تتكاثر بالانقسام.

وبعد سنة ، عقب محـادثة أثناء عشاء مع شلايدن ادرك خبير التشريح الالماني ثيودور شفان (Theodor Schwann) ان خلايا الحيوان التي كان عاكفا على دراستها كانت تسلك مثل خلايا النبـات لدى شلايدن، فخطـر له ان الخلايا هي مثل المتعضيات تقوم بانجاز جميع الانشطة اللازمة التي تقوم بها الميكروبات الاحادية الخلية ، وانها في الحيوانات والنباتات منظمة في وحدة جماعية متسقة متناغمة لتشكل متعضية كاملة على مستوى أعلى من الوجود. ثم على حين غرة وفي واحدة من اوسع التعميمات الشاملة في تاريخ العلوم

رأى شفان قاسما مشتركا أعظما لجميع الكائنات الحية وهو ان النباتات والحيوانات بأجمعها كانت مبنية من نفس الوحدة الاساسية وهذه هي الخلية. قام شفان بنشر افكاره في عام ١٨٣٩ في ورقة بعنوان «حول تماثل البنية والنمو في النباتات والحيوانات» وبذلك تم اقرار وتثبيت النظرية الخلوية للحياة.



الشكل ١/٦ — رسومات لقطعة من الفلين من كتاب هوك: « التصوير المجهري micrographia ». وهنا تشير A الى مقطع مستعرض و B الى مقطع مستطيل.

ان الخلية هي أصغر منظومة بيولوجية مستقلة قائمة بحد ذاتها، وهي أساس الحياة، وجميع الكائنات الحية تتألف أما من خلية مفردة أو من توليفة من الخلايا، وبالنتيجة فان الخلية هي ماكنة بيوكيميائية قادرة على التناسخ الذاتي. وعند توفر مصدر للطاقة والمواد الخام الضرورية بوسع الخلية أن تشيد مكوناتها الخاصة وأن تقوم بنسخ ومكاثرة تركيبتها برمتها. وعند التأمل في أمر ان عدد العناصر أو المقومات الفردية (constituents) فيها يمكن أن يمتد الى عشرات الآلاف كلها معبأة في كرة متناهية في الصغر تحتاج الى التكبير عدة مئات من المرات لجعلها مرئية، فاننا سنجد انها عبوة عجيبة للغاية حقا.

عند النظر اليها من خلال مجهر ضوئي تقليدي تبدو جميع الخلايا بشكل كبسولات أو سنفات متألفة من مواد شفافة ومتجانسة الى حد كبير. والبنى الوحيدة التي يمكن تمييزها هي الجسيمات المتلونة كالجبيلة اليخضورية (chloroplast) في خلايا النبات التي تتضمن اليخضور (chlorophyll)، أو مواد مصطبغة كما في الخلايا الحيوانية. ولتمكن من دراسة الخلايا يتحتم على الخبير المجهري استعمال صبغات كيماوية مختلفة لتلوين أو تفتيح ملامح منتقاة في باطن الخلية. وظلت هذه الطريقة الوحيدة لدراسة تركيبة الخلية وانشطتها طوال أكثر من قرن واحد.

وحين بدأ الخبراء البيولوجيون في القرن التاسع عشر بمعاينة العالم المجهري وجدوه مكتظا بشتى انواع المتعضيات الاحادية الخلية تقف أساليبهم التصنيفية ازائها عاجزة. كانت الكائنات الاولية (Protozoa) وهي حيوينات احادية الخلية ذوات خلايا كبيرة ومعقدة نسبيا. فقد كان بينها البكتيريا، وهي أصغر حجما وأبسط تركيبة، كما كان بينها الطحالب والفطريات. كانت تنويعة غريبة من المخلوقات متواجدة على مستوى يتغوش فيه التميز

بين الحيوان والنبات منها. لكن بين جميع المتعضيات الاحادية الخلية ، كانت البكتيريا والطحالب الخضرزرقاوية فقط لا تتضمن نواة متضحة وبالنتيجة جرى تصنيفها معا في رتبة منفصلة عرفت فيما بعد بالبروكاريوت ، بينما تضمنت خلايا جميع النباتات والحيوانات الاخرى نوى مغلفة في أغشية وأسميت هذه بالخلايا اليوكاريوتية.

مر المجهر الضوئي خلال العديد من التحويرات والتجديدات عبر سنوات القرن بهدف تحسين قدرته، وظهرت مجاهر اختصاصية منها المجهر ذو التباين الطوري، والمجهر الاستدلالي، والاستقطابي، وذو المدى القاتم، لكن الاوصاف التفصيلية بقيت على الدوام بعيدة عن متناول الرؤية بشكل محزن مؤلم • وبما ان الاتضاح يتوقف على طول الموجة الضوئية فقد كان هذا مقتصرا على ما يقرب من (٠ر٢٤) من الميكروميتر (micrometre = ٠ر٠٠١ أو واحد بالالف من المليمتر) ولما كان طول قطر البروكاريوت يتراوح ما بين (٠ر٣) الى (٢ر٠) ميكرومتر، والخلايا اليوكاريوتية بتركيبتها الاكثر تعقيدا أكبر من ذلك بنحو عشر مرات، فقد كان بوسع التحليل الايضاحي في تلك المجاهر أن يبين الخلية انما لم يكن من الدقة بما يستطيع بيان التفاصيل البنيوية •

ثم في عام ١٩٢٤ طرح لويس دبروغلي (Louis de Broglie) وجوب انتقال الالكترونات (electrons) في موجات خاصة بها كالضوء مع كون طول الموجة متناسبا عكسيا مع جذر الفلطية، ونظريا بامكان الحزم الالكترونية (electron beams) أن تتألف من اطوال موجية اقصر بكثير مما في الضوء، وعليه فان المجهر العامل بالالكترونات سيكون أقوى وأوضح بكثير من المجهر العامل بالضوء، وانحزمة الكترونية بقوةمائة (١٠٠) كيلوفولط تعطي ايضاحا

تفصيليا أقوى منه بالمجهر الضوئي بنحو مائة واربعين (١٤٠) الف مرة، وعلى أساس هذه النظرية تم بناء أول مجهر الكتروني في المانيا في عام ١٩٣٢ مجهزا بعدسات مغنطية وانتجت شركة سيمنس هالسكة نموذجا تجاريا منه في عام ١٩٣٨•

جاء المجهر الالكتروني ليفجر الاوضاع ويحدث انقلابا ثوريا في معرفة السبل التي تنتظم بها الخلايا، وأوضح ان الفارق بين النوعين من الخلايا كان أعظم من مجرد وجود أو انعدام النواة ، وكان اختلافا بالغا في البنية دون الخلوية أو الفرع خلوية (subcellutar) • وبعد الاطلاع على مدى تعقيد البنية والكيمياء في الخلايا اليوكاريوتية ، غدا واضحا ان الفارق بين الخلايا البروكاريوتية والخلايا اليوكاريوتية كان عظيما لدرجة لابد أن نشأة وتطور هذه الاخيرة كان بمثابة خطوة كبرى في عملية النشوء•

كلا نوعي الخلايا مغلف بأغشية مماثلة في بروفيلها (profile) أو مظهرها الجانبي وتنقسم تحت التكبير العالي الى بنى ثلاثية الطبقات تبلغ سماكتها نحو (٠ر٠٠٨) من الميكرومتر • لا توجد وحدات غشائية التغليف في الخلايا البروكاريوتية ، وتظهر المادة النووية والجبيلة الخلوية أو السيتوبلازمة (cytoplasm) متسقتين وغير منفصلتين، وتتألف الوحدات البنيوية الرئيسة من جسيمات (particles) دون خلوية (subcellular) يبلغ قطرها حوالي (٠ر٠١) من الميكرومتر تعرف باسم الريبوسوم (ribosomes) يتم فيها تمثيل أو تصنيع البروتينات • (والريبوسومة سكرة خماسية مشتقة من حوامض النوويك وصيفتها الكيميائية $C_5H_{10}O_5$•

أما الخلية اليوكاريوتية ، من جهة أخرى، كما انكشفت تحت المجهر الالكتروني، فانها ليست سيتوبلازمة متجانسة (homogeneous) ، وانمامتاهة

من المقاطع تفصلها الاغشـية ، وهذه المنظومة من الاغشية ناشئة (labyrinth) عن تلافيف الغشاء الخلوي الذي يجعل جميع الأغشية متواصلة ببعضها . ونواة الخلية محاطة بالغشاء تتضمن حوامض النوويك والبروتينات . كما توجد في مناطق أخرى من الخلية بنى منتظمة منفصلة تسمى بالاورغانيل (organelles) التي تلعب ادوارا نوعيـة في الوظـائف الخلوية ، ومنها الريبوسومات التي تقوم بتمثيل البروتينات ، والميتوكوندريا كمصادر طاقة الخلية حيث اكسدة حامض البيروفيك (pyruvic acid) الى ثاني اوكسيد الكربون والماء كطاقة تستخدمها بقية الخلية، ويوجد فيها ايضا ما يسمى باجسام غولجي Golgi bodies = وهي بنى في جبلة او سيتوبلازمة الخلية تشارك في عملية تصنيع الغذاء في الخليـة)، والليـومـات (Lysosomes: جسيمات في السيتوبلازمة تتضمن عددا من الانزيمات الهضمية لها وظائف تحليلية)، وغيرها.

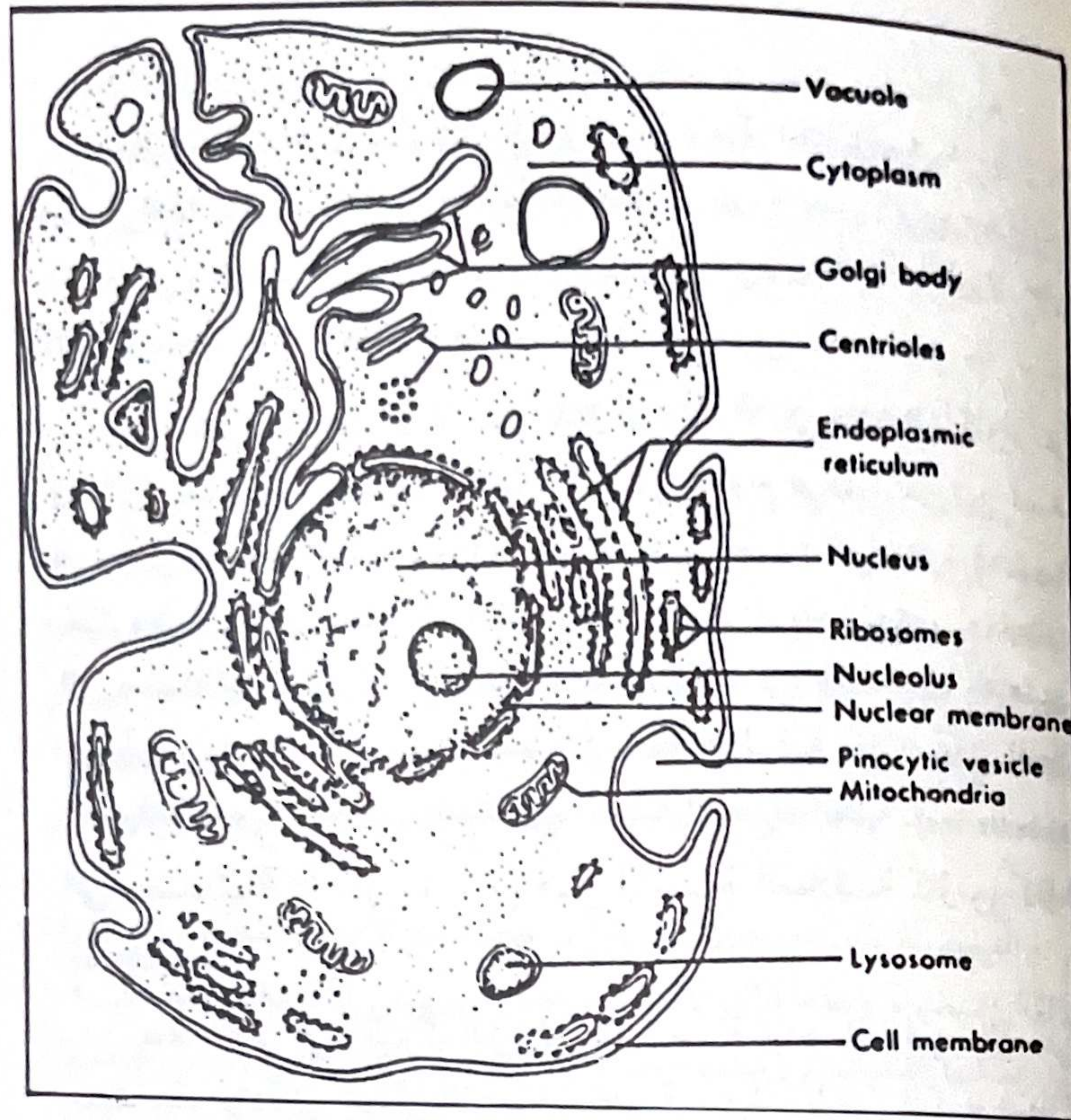


الشكل ٦/٢ ـ مقطع عرضي للجزء الرئيس لخلية ثديية مرئي من خلال مجهر الكتروني يوضح النواة وغشاء النواة ومنطقة النواة . كما تظهر في السيتوبلازمة الحويصلات والميتوكوندريا . والخط الافقي في اسفل الزاوية اليمنى يمثل الف نانومتر (١٠٠٠ nm) ، ويبلغ هنا التكبير (٧٥٠٠) ضعف.

ان النواة (nucleus) هي موقع التخزين للطبقة (bluepoint) لتناسخ أو تكاثـرة كل المتعضيـة برمتهـا. تأتي هـذه في الخليـة اليوكاريـوتية كأورغانيلة متميزة واضحة ، بينما في الخلية البروكاريوتية ينقصها الغشاء النووي وتطفو بطلاقة في السـيتوبلازمة ، والمعلومات الوراثية للخلية مخزونة في التركيبة الكيميائية ذات بوليمر خطي طويل يسمى بالحامض الخلـوي الصبغي دنأ (Deoxyribonucleic DNA: acid) .

يؤلف حامض دنأ الجزيئة المعلوماتية للمنظومة الحية ، وتقوم بنيتـه المدسترة (coded structure) بتعيين سياق الحوامض الامينية في البروتينات، انما البروتينات هي التي تخلق المتعضية ، وهي بمثابة العمال الذين يجعلون كل ذلك ممكنا . فالبروتينات هي التي تقوم بتكوين البنية ، ونقل المواد، وتنظيم العمليات ، وفوق كل شيء، هي الانزيمات التي تقوم بتحفيز جميع التفاعلات البيوكيميائية. ويترتب علىجميع الخلايا ، سواء كانت بروكاريوتية أم يوكاريوتية، على تمثيل البروتينات ، وهي مهمة يتم انجازها في جسيمات صغيرة دون خلوية تسمى بالريبوسومات.

يبلغ طول قطر الريبوسومة اليوكاريوتية حوالي (٠ر٠٢٥) من الميكرومتر ولها وزنجزيئي يبلغ اربعة ملايين(٠٠٠ ٠٠٠ ٤) فيالمتعضيات العليا، ومليونين وسبعمائة الف (٠٠٠ ٧٠٠ ٢) في البكتيريا[1]. وكل ريبوسومة تتألف من وحدتين فرعيتين (subuit) اثنتين ، يقع حجم احداهما تقريبا بضعف حجم الاخرى، تضم الوحدة الفرعية الاصغر جزيئة كبيرة من حامض الريبونوويك رنأ (RNA: ribonucleic acid)بينما تضم الوحدة الفرعية الاكبر جـزيئتين رنأ غير متـساويتي الحجم. بالاضافة الى ذلك يوجد حوالي عشرين (٢٠) بروتينا مختلفا في الوحدة الفرعية الاصغر، وأربعين (٤٠) في الاكبر. وبقدر ما قد أمكن التثبت منه تتواجد البروتينات بجزيئة واحدة لكل منها.



الشكل ٦/٣ — رسم لخلية يوكاريوتية

والترتيب الوظيفي لمكونات الريبوسومة نوعية اختصاصية للغاية . ويتجلى هذا الاطراد التنظيمي بحقيقة انه قد تمت بلورة بعض الريبوسومات، كما يمكن ايضا على سبيل المثال استحثاث ريبوسومات أجنة الطيور على التطور بمجرد تبريد الخلايا[٢]•

وعلى عكس الريبوسومات لا تظهر الميتوكوندريا الا في خلايا اليوكاريوت• والميتوكوندريا هذه جسيمات سجقية الشكل يتراوح عرضها ما بين نصف الى ميكرومتر واحد (٥ر٠ـ١ر٠)، وطولها ما بين خمسة الى عشرة (٥ـ١٠) ميكرومترات، وهي محاطة من الخارج بغشاء كيسي (thylakoid) ومفصولة الى سلسلة من الحجرات بواسطة أغشية باطنية تسمى بالمسحيات الدهنية (christae) ، وعدد المسحيات الدهنية في الخلايا النباتية أقل منه في الخلايا الحيوانية ، ويتراوح من واحدة في الطحلبة الاحادية الخلية (microsterias) الى خمسمائة الف (٠٠٠ ٥٠٠) في الاميبة العملاقة كاؤس كاؤس (chaos chaos) •

عند النظر الى الميتوكوندريا في خلية حية تبدو انها في حالة حركة مستديمة، وتشكل المراكز التنفسية للخلية ، ويتم تأيض الكربوهيدرات والدهون ، والى حد أقل البروتينات في هذه الميتوكوندريا لتزويد الطاقة الى الخلية • وفي سلسلة من التفاعلات الكيميائية تحفزها الانزيمات تتم تجزئة المواد ذوات الطاقة الكيميائية الاعلى الى مركبات ذوات طاقة كيميائية أقل، ويستخدم فارق الطاقة لتمثيل جزيئة أتب العالية الطاقة ATP = ثلاثي فوسفات الادينوسين) ان الأتب هي المادة الكيميائية الغنية بالطاقة التي تقوم الميتوكوندريا بتوزيعها الى مواقع التمثيل المختلفة لتنشيط المركبات لتحويلها الى بنى كيميائية أخرى•



في النباتات الخضراء تتألف الارغانيلة التي تعمل على التقاف ضوء الشمس من جسيمة معقدة بنيويا تسمى بالكلوروبلاستة او اليخضور (chloroplast) ، ويتباين عدد اليخاضير في خلايا النباتات ، ففي بعض الطحالب مثل السبيروجيرا الشعيرية (spirogyra) يوجد يخضور مفرد واحد فقط، بينما قد يوجد ما بين ثلاثين الى أربعين (٣٠ـ٤٠) يخضورا في كل خلية في الجزء الاسفنجي من شرنقة العشب•

ثمة اورغانيلات أخرى في الخلايا اليوكاريوتية مع تزايد اشكال الحياة في التعقيد • فعلى سبيل المثال ان جهاز غولجي (Golgi apparatus) يتألف من منظومة من الاغشية تستخدم في رزم أو تعبئة البروتينات لافرازها، مثل الانزيمات الهضمية • تتم مراكمة هذه البروتينات في جهاز غولجي ثم تضاف اليها الكربوهيدرات ، ويجري تغليف عدد كبير من الجزيئات في الغشاء الواحد• بعد ذلك تنقل العبوة الى حافة الخلية حيث تسرح محتوياتها الى الخارج•

والليسوسومات جسيمات تقع بحوالي حجم الميتوكوندريا انما بدون البنية البالغة التنظيم• وهذه الاورغانيلات مجلات (sacs) من الانزيمات الهضمية التي يمكنها تفكيك بروتينات وحوامض نوويك كبرى، ولم يكتشف غرضها حتى مؤخرا ولكن ادراكه أماط اللثام عن تناهي تعقدية الخلية البيولوجية•

ان المكونات الجزيئية لجميع الكائنات الحية في حالة تدفق دائم ، وتجري تجزئة واستعاضة المقومات باستمرار ، وحتى البنى المتناهية في التنظيم كالميتوكوندريا لها وجود زائل• فعلى سبيل المثال ان مدى عمر ميتوكوندريا الكبد يتراوح ما بين عشرة الى عشرين (١٠ـ٢٠) يوما• انما لم يتضح في الحال السبب المؤدي الى هذا الوضع•

لكن السبب يتعلق بتخزين المعلومات • فان بنى الجزيئات البوليمرية في



الخلية والوحدات دون الخلوية ناتجة عن عدد هائل من نتف المعلومـات ، ويتوجب أن تكون كل تضريسة في غاية الدقة لتكون محكمة الكفـاءة . فالمنظومة المكلفة باصلاح العيوب التي تحصل ستتطلب منظومة معلوماتية من نفس الجسامة تقريبا . لذلك فانه من الابسط أن يتم تعويض البروتينة او الاورغانيلة الناقصة بأخرى جديدة التصنيع، وعليه متى ما تبدأ فعالية أحد المكونات الخلوية بالتعثر ، تقوم الليسوزومة بفصل ذلك الجزء في الحال ويجري تلقيم حطامه في فرن ميتوكوندريونة سليمة لتزويد الوقـود الى عمليات التمثيل الاخرى[٣].

لليسوزومة وظيفة اضافية أخرى. فعندما تموت الخليـة تنفجـر مجلة الليسوزومة وتقوم الانزيمات المنطلقة بهضم البيوبوليمرات الخلوية وتعيدها الى وحداتها المونومرية ، وتمحي بذلك التنظيم الكيميائي الذي جعل الخلية كيانا بيولوجيا ، وتعيد اللبنات البنائية للاستخدام مرة أخرى.

جميع الخلايا مغلفة في بنية غشائية لها خواص فريدة لاحتواء المكونات الخلوية والعمل بمثابة حاجز ترشيحي الى البيئة الخارجية، ومن الخواص الشائعة للاغشية الخلوية هي طبيعتها البروتين دهنية، وبالنسبة للدهنيـات تملك الفوسفودهنيات خواص تجعلها ملائمة خصيصا للغشاء.

عندما نشأت اليوكاريوت احتفظت بالبنية الخلوية للغشاء ووسعتها الى حد كبير، وعند معاينتها في مجهـر الكتروني تظهر الخليـة اليوكاريوتيـة كمحيار من المقاطع أو الاقسام تضم السيتوبلازمة والجسيمات دون الخلوية. تتوغل انغمادات الغشاء عميقا في الخلية وتتلوى منظومة الغشاء السيتوبلازمي الدقيقة التفاصيل خلال الخلية كتتمة لغشاء الخلية . وهذه المنظومة المعقـدة للغشاء ، شبكية الجبلة الباطنية ، تعمل على أكثر من مجرد زيادة المسـاحة السطحية ، فهي الآن تعتبر جزءا مهما من الخلية لتصنيع المنتوجات الخلوية.

توجد بداخل البنية انزيمات تقوم بالتحكم في التفاعلات الواقعة في أجزاء ستراتيجية من الخلية. وشبكية الجبلة الباطنية تشكل تحويرا تكيفيا رئيسا للخلية اليوكاريوتية معدوما في خلايا البروكاريوت، وعلى ما يظهر انمرورها من خلال باطن الخلية يتيح بعض النقل المباشر لجزيئات وايونات مختلفة من قسم الى آخر في الخلية . وحتى الى خارج الخلية.

ويماثل تعقد الخلية اليوكاريوتية طريقتها في التكاثر المسماة بالتخيط أو الانقسام الفتيلي (mitosis) . ربما يبقى دنأ (DNA) اليوكاريوت عـائما في السيتوبلازمة كوهن طويل (straud) مربوطا في أنشوطـة (loop) يلتف دنأ اليوكاريوت في صبغيات (chromosomes)تبدو كخرز منظومة في خيط، وكل صبغية تتضمن مجموعة معينة من الجينات (genes) .يتباين عدد الصبغيـات باختلاف الانواع، فذبابة الفواكه لها ثمان (٨)، والبصل ست عشرة (١٦)، والانسان ست وأربعون (٤٦)، والسائمة ستون (٦٠).

يبدو أن النواة تبقى بنية متجانسة اثناء ردح كبير من عمـر الخليـة اليوكاريوتية ، وذلك باستثناء مساحة كروية منفصلـة صغيرة في بـاطن الاورغانيلة تسمى بالنوية nucleolus :وهي جسم ظـاهر يتألف من البروتين مع بعض رنأ (حامض الريبونوويك) عادة كروية الشكل تقع في باطن النواة (nucleus)). يبدو ان النواة nucleus تبقى خالية من كل نشاط اثناء مرحلة الاستراحة أو الهجوع مع الصبغيات منتشرة في فوضى ضاربة . غير أنهذه هي الفترة التي يجري فيها تجميع الكيميائيات المونومرية (monomeric chemicals) لاستنساخ جزيئة الدنأ (DNA molecule) .

وعندما يحل ميعاد التكاثر يبدأ زوجان دقيقا البنيـة من الوكائت، او السنتريولات (centrioles) ، يقعان مباشرة خارج النواة ، يبدآن بالابتعـاد

عن بعضهما، وفيما يفعلان ذلك يمدان بينهما خيوطا سهامية (gassamer threads) تسمى بألياف المغازل (spindle fibres) • وعندما تتحرك الوكائث (centrioles) نحو طرفي الخلية المتقابلين تبدأ الصبغيات بالالتفاف والتكثف•

آنذاك يبدأ غشاء النواة بالتصدع والتفتت متيحا للمغازل الامتداد عبر الخلية كلها، وبهذا الوقت تكون الصبغيات قد تشكلت في بنى قضيبية واضحة فتلتصق المغازل بالاجسام الصغيرة فيها• بعد ذلك يتم سحب الصبغيات الى خط استواء (equator) الخلية حيث ترتصف كالنقانق لتنقسم بالتساوي بين الخليتين الابنتين•

ومتى يتم الانقسام بين الصبغيات تبدأ المغازل بلفها نحو قطبي الخلية• بعد هذا تسترخي الصبغيات من فلكاتها أو حوياتها (whorls) المكتنزة • وفي اثناء ما تبدأ الصبغيات بالانحلال من تلافيفها والامتداد يجري تغزيل spu نووي حول كل مجموعة، وبعد ذلك يتجمع الغشاء النووي معا في الوسط وينفصم وبذلك ينفصل الخلية الاصلية الى خليتين ابنتين مستقلتين تامتين•

تستغرق الخلية البشرية حوالي ثماني عشرة ساعة للتجدد بينما تعد هذه الفترة بالدقائق بالنسبة الى البكتيرة، أي ان هذه تتجدد في خلال ثماني عشرة دقيقة بدلا من ساعة! لكن الدنأ البكتيري هو بمثابة صبغية مفردة تتألف من حوالي الفين وخمسمائة (٢٥٠٠) جينة مع ما يقرب من مليون مونومرا منظومة معا في بوليمر (polymer) ولي (linear) ، يبلغ طوله عند مده بتمامه ما يقرب من مليمتر ونصف (١٫٥ ملم)• ومن جهة أخرى، يمكن ان يتضمن دنأ الخلية الثدية مائة الف (١٠٠ ٠٠٠) جينة ويتألف من بوليمر يتضمن اربعة آلاف مليون (٤٠٠٠ ٠٠٠ ٠٠٠) مونومرا ويبلغ طوله عند مده على تمامه خمسين (٥٠) بوصة•

تشمل البروكاريوت على البكتيريا، والسيانو بكتيريا، والكلوروكسي بكتيريا[4] (chloroxybacteria) الحديثة الاكتشاف ، وبعض المتعضيات المتعددة الخلايا مثل الاكتينوبكتيريا والميكسوبكتيريا المثمرة (actino bacteria fruiting myxobacteria) • أما اليوكاريوت فتشتمل على معظم المتعضيات المألوفة بما في ذلك مثل حوامل البحر (seaweeds)، والاوليات (protozoa) والفطريات (fungi)، والنباتات والحيوانات• تمتلك البروكاريوت مسالك تأيضية (metabolic pathways) للتجزئة التخمرية للمواد العضوية ، واختزال أو تثبيت ثاني اوكسيد الكربون والنيتروجين الجويين، وأكسدة كبرتيد الهيدروجين الى كبريت، والتمثيل الحيوي (biosynthesis) للحوامض الدهنية ومشتقات الايسوبرين مثل البورفرين (porphyrins) • مع قيام اليوكاريوت جاء التنفس الهوائي والتمثيل الاستيرويدي (steroid synthesis) • (الاستيرويد هو أحد مجموعة من المركبات تشمل الستيرول وهو من الكحول غير المشبعة مثل الكولستيرول، والحوامض الصفراوية والهرمونات الجنسية وغيرها)•

تمثل هذه المسالك، مع الآليات الخاصة لاستنساخ وتمثيل الجزيئات الضخمة (macromolecules) أغلب الانشطة الخلوية الاساسية لجميع الكائنات الحية قاطبة• وبما ان هذه تتواجد حتى في المتعضيات المجهرية فاننا بالحتم نواجه الادراك الرهيب ان الفوارق التي نقيمها بين أنفسنا وبين الاشكال الأخرى من الحياة ليست في الحقيقة بالاهمية البيولوجية التي نشتهي أن نعتقد ، وان جميع الابتداعات البيوكيميائية العظمى كانت قائمة في الوجود قبل ظهور أية نباتات وحيوانات، وقبل أن تتضمن القارات اية حياة ، وقبل ان تطور الخلايا وسائل تعدد الخلوية•

الفصل السابع
الريازة الجزيئية

يتألف جسم الانسان من حوالي عشرة تريليونات من الخلايا (التريليون الامريكي هو الرقم واحد متبوعا باثني عشر صفرا، وهو المقصود بلفظة التريليون في كل هذا الكتاب). وكل خلية تعمل كالمتعضية الاحادية الخلية تقوم بتناول المواد الغذائية وتديم تواجدها فيما تقوم بانجاز وظيفة نوعية معينة في خلقة الشخص الكلي. ومن التآلف المتناغم البالغ التعقيد للوظائف الخلوية يتأتى الوعي والاحساسات والعمليات الحياتية التي تتيح لنا التواجد في عالمنا الابعادي. وفي مرتكز وأساس التعقد العددي والسلوكي لوجودنا تكمن الوحدة الذاتية الكينونة ، ألاوهي الخلية.

ان الوحدة الاساسية الجوهرية لتركيبتنا هي الخلية اليوكاريوتية وهي بالغة في الصغر تتعذر رؤيتها بالعين المجردة ويتوجب لرؤيتها تكبيرها عدة مئات من المرات. لكن حجم وتعقد اليوكاريوت أعظم من مثيليهما في البروكاريوت بألف مرة. وبالرغم من تناهيهما في الصغر فان البروكاريوت ليست بذاتها عنصرية (elemental) . فهي ايضا وحدات ذاتية الكينونة تنبع حيويتها وتكاملها من التآلف التناغمي لمقومات من رتبة أخرى تكمن في قاعدتها الاساسية.

والبكتيريا تؤلف أبسط اشكال الحياة . وعبر هوة الى أعماق الصغر التي يعجز عن الوصول اليها حتى المجهر الالكتروني يوجد عالم هائل يعج بالاحياء يربط ما بين الحياة والجماد . وقد كان من هذا العالم ان نمت الوحدات البنيوية التي خلقت المنظومات الحية ، وهذه الوحدات البنيوية هي الجزيئات الكيميائية .

لقد اضطر علم الكيمياء بذاته أن يتطور على مدى مائتي سنة قبل أن يتمكن من معالجة الكيمياء المعقدة للمنظومـات البيولوجية ، وبحلـول القرن الثامن عشر كان العلماء قد ارسوا العديد من مبادىء الكيمياء والفيزياء التي كانت صائبة بالنسبة الى المواد اللاعضويـة لكن تعقدية المنظومـات البيولوجية وطبيعتها التوارية بدتا تستثنيانها من منطوق هـذه المبادىء والقوانين الفيزيائية الملموسة • وتم اقرار هذا الرأي رسميا في عام ١٧٠٧ عندمـا أعلن الطبيب الالماني جورج ارنست شتاهل (Georg Ernst Stahl)• النظرية بأن الحياة تخضع لقوانين خاصة لا مادية • كانت هـذه النظريـة الحيوية التي نصت على ان جميع الكائنات الحية تتضمن قوة حية ، وهي قوام لا مادي غير قابل للفصل يقوم بتوجيـه واتاحة انجاز وظائف جميع العمليات الحياتية•

كان الكيميائيون الاولون يدركون ان المواد من الكائنات الحية كانت بوضوح تختلف عن العالم الفلزي وتقع في فئات متميزة• فالنشاء الابيض الطباشيري يستخرج من القمح والبطاطا والرز ويستخدم في تجـنة ياقـات الاعيـان، وتستخرج الزيوت من النباتات والحيوانات للاستعمال في الاغذية وكوقود لمصابيح الاضاءة ولما كانت الدهون والشحوم غير قابلة للذوبـان وزيتيـة الملمس، فانها جمعت معا في صنف الدهنيات (lipids) • ثم جاءت مجموعة ثالثة وجدت في الاغذية المغايرة للصنفين الآخرين ، وكانت هـذه المـواد الزلالية او الالبومينية السائلة الموجودة في آح البيض والحليب والـدم، وكانت مفردات هذه الفئة غير مستقرة بوجه خاص وتخثرت عند تسخينها•

على نقيض أغلب المركبات اللاعضوية كانت منتوجات المتعضيات غير مستقرة ازاء الحرارة وتتغير عند التسخين تغيرا ثابتا لا رجوع فيه، واغلبها غير قابل للاحتراق• بين التحليل العناصري ان النشأ تألف من الكـربون

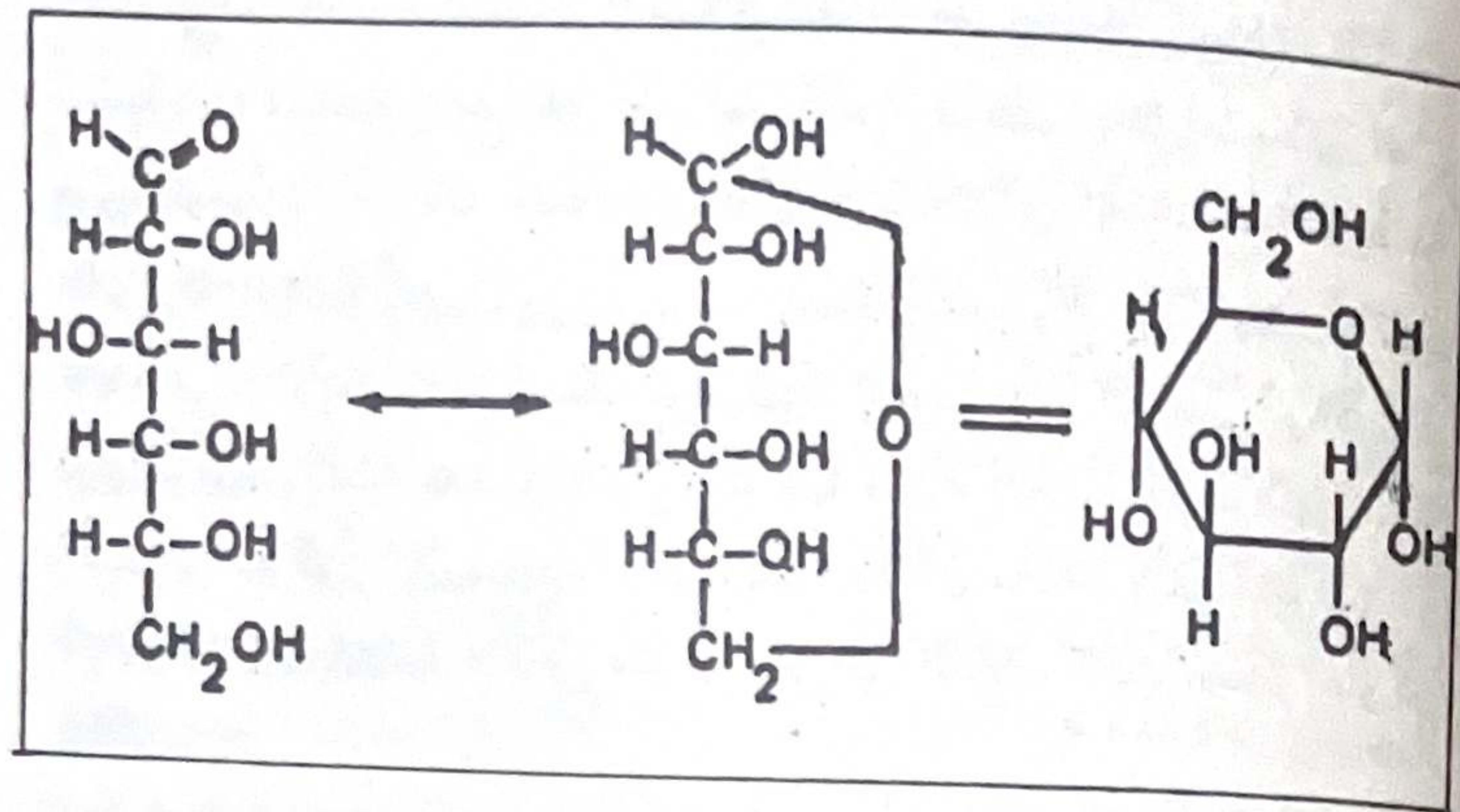
والهيدروجين والاوكسجين، وان الدهنيـات كانت في معظمهـا تتألف من الكربون والهيدروجين وقدر ضئيل من الاوكسجين، وان المواد البومينية تضمنت الكربون والهيدروجين والاوكسجين والنيتروجين وأحيانا الكبريت والفوسفور • ومع كل هذا القدر من الكـربون والهيدروجين بدا واضحا لماذا كانت هذه المواد قابلة للاحتراق • وما عدا ما هو في الحجر الجيري ليس الكربون عنصرا شائعا بين الفلزات • أمـا في المنظومات الحية فهو دائما موجود•

كانت قوانين واساليب الكيمياء قد ارتسخت بحلول القرن التاسع عشر، والكثير من الكيمياء الحديثة قد نما من أعمـال يونز ياكـوب برزيليوس (Jons Jacob Berzelics) في السويد • فقد تمكن برزيليوس في بـواكير أعوام ١٨٠٠ من التثبت من التركيب العناصري المضبوط والصيغ الكيميائية لنحو الفي (٢٠٠٠) مركب (compound)• كما انه قدم للعالم العديد من الكلمات الكيميائية بما في ذلك كلمة بوليمر (polymer) للدلالة على جزيئة كبيرة تضم معا وحدات فرعية صغيرة، وكلمة كاتاليست (catalyst =محفز) للدلالة على المادة التي تساعد في اتمام تفاعل كيميائي دون ان تستهلك هي بذاتها•

كانت بضعة مركبات بيولوجية نقية قد سبق وشاعت معرفتها قبل عهد برزيليوس ، وكان قد تم عزل العديد من السكاكر البلورية من عـدد من المصادر وكانت اليوريا (Urea) ايضا معروفة كبلورات تظهر عند تبخر البول الى حد الجفاف• بدت المركبات المنقاة المشتقة من المنظومات الحية تتضمن العديد من الخواص المشتركة التي لا تتعداها الى الكيماويات اللاعضوية • صاغ برزيليوس كلمة عضوي (organic) وقسـم الكيميـاء الى عضويـة ولا عضوية ، مع الاولى مشتملة على المركبات من المنظومات الحية ومتميزة ومنفصلة عن الكيمياء اللاعضوية•

وهكذا تم وضع التمييز الكيميائي، وأبدى أصحاب المذهب الحيوي ارتياحهم • فبغض عن كيفية نشوء الحياة ، فانها بقيت مسألة فلسفية لأنـه لم يمكن أن تتأتى من مادتها الدنيوية من التربة او من الفلزات • فان كان ليأتي تفسير علمي لنشأة الحياة، فان مسألتها الاساسية آنذاك كانت هي نفسها التي قامت بعد مضي مائة عام عليها، وهي: كيف تمكنت المواد العضوية أن تتأتى من المواد اللاعضوية في الارض؟

ظل تمييز برزيليوس بين الكيمياء العضوية واللاعضوية قائما لمدة احدى وعشرين سنة فقط • اذ أن أحد تلاميذه بالذات، وهو الكيميـائي الالماني فريدريش فولر (Friedrich Wühler)قام بنسف الحاجز على حين غرة • كانت تجربة بسيطة ، ولكنها لم تقبل النزاع • فقد تمكن ڤولر من انتاج اليوريا من تسخين سيانات الامونيوم (ammonium cyanate)، وهي املاح لا عضوية ، بينما اليوريا هي المادة الاعتيادية التي تفرزها الثديات في بولها• وجاء هذا الاكتشاف بمثابة ضربة قاسية لاصحاب النظرية الحيوية ، ولكنهم انتعشوا لحد ما في محاولة لاعادة صياغة موقفهم، انما تجربة ڤولر كانت مجردالبداية للانهيار الكلي للتقسيم بين كيمياء الاحياء وكيمياء الجماد•



الشكل ١/٧ ـ الصيغ البنيوية للغلوكوز د D—Glucose

وبعد أحد عشر عاما ، في عام ١٨٣٩، ضم شڤان (Schwann) جميع الكائنات الحية في بوتقة مشتركة باقرار الخلية كالوحدة الاساسية للحياة. وواصل الكيميائيون، طوال بقية القرن، وفيما عكف البيولوجيون على دراسة تركيبة ووظيفة الخلية، يسطون اللثام خطوة فخطوة عن ريازة المركبات العضوية.

في عام ١٨١٢ أذهل غوستاف كيرخهوف (Gustav Kirchhoff) الكافة بتغلية النشاء العادي مع قليل من الحامض والحصول على سكر العنب (grape sugar) . كان حلمأ (hydrolysed) النشأ ، أي انه صدع الاربطة المتوازية التكافؤ (covalent bonds) مع اضافة الماء بنوع من الهضم محفز بالحامض . وبعد ذلك بسبعة أعوام قام الكيميائي الفرنسي براكونيه (Braconnet) بتغلية عدة مواد نباتية بما فيها نشارة الخشب وولد منها السكر البسيط غلوكوز (glucose). وعلم فيما بعد ان مادة باسم خليولوز أو سيليولوز (cellulose) ، وهي مقوم رئيس في النبات، كانت مصدر غلوكوز براكونيه.

قام جوزيف لويس غاي لوساك (Joseph Louis Guy-Lussace) بتحري النشأ والسليولوز والسكاكر المختلفة ووجد عند تحليلها ان كلا منها أعطى ذرة كاربون واحدة لكل ذرة من الاوكسجين وذرتين من الهيدروجين . كما بدا ان هناك جزيئة ماء واحدة لكل ذرة كاربون، معطية بذلك الصيغة CH_2O لمفردات هذه المجموعة ، واستفزه هذا الوضع الى تسميتها بالكربوهيدرات (carbohydrates) أو الكاربون المميه أو المهيدر (hydrated carbon) .

كانت السكاكر ابسط البنى الجزيئية يمكن الحصول عليها بالحلمأة

(hydrolysis) ، وعند مقايسة الوزن الجزيئي للغلوكوز وجد انه يبلغ (١٨٠) او ستة اضعاف وزن CH_2O ، والسكاكر البسيطة الاخرى أعطت ايضا نفس الصيغة. ولما كان النشأ والسليولوز أكبر بكثير وبحجم تتعذر مقايسته بأساليب تلك الايام، فانه بدا واضحا انهما كانا متكونين من ترابط السكاكر البسيطة.

قام الكيميائي الزراعي الهولندي جيراردوس مولدر (Gerardus Mulder) بدراسة المادة الالبومينية الموجودة في المواد الغذائية ، وفي عام ١٨٥٨ باقتراح من برزيليوس أطلق اصطلاح البروتين على هذه المجموعة ، وبسرعة أدرك البيولوجيون ان الجبلة الاولية (protoplasm) وهي السائل اللزج الموجود في جميع الخلايا والمعتبر أساس الحياة ، كان متألفا في معظمه من البروتين. وعند حلمأة البروتينات تبين، على نقيض النتائج المتحصلة بالنسبة الى الكربوهيدرات، ان هذه أعطت خليطا من مركبات أصغر تتضمن النيتروجين صعبة الفصل. وعند انجاز عزل الاولى من هذه السلاسل في عام ١٨٢٠ وجد انها مادة كيماوية بلورية بيضاء وأطلق عليها اسم غلايسين (glycine) ، وهذه هي الحوامض الامينية الالفائية (alpha amino acids) متميزة باحتوائها على حامض الكاربوكسيليك (carboxylic) والمجموعة الامينية المرتبطة بنفس الذرة الكاربونية كان قد اسماها برزيليوس في عام ١٨٤٨ ثم انقضى أكثر من قرن قبل التمكن من عزل وتشخيص جميع الواحد والعشرين حامضا أمينيا الموجودة عاديا في البروتينات.

بحلول عام ١٨٢٧ كان ويليام براوت (William Prout) قد نهض يقترح ان جميع المادة العضوية في المنظومات الحية كانت تتألف جوهريا من ثلاث فئات من المواد هي الكربوهيدرات ، والدهنيات ، والبروتينات ، وفيماواصل الكيميائيون استقصائها اكتشفوا ان الخاصية المميزة للنشاء والسليولوز،

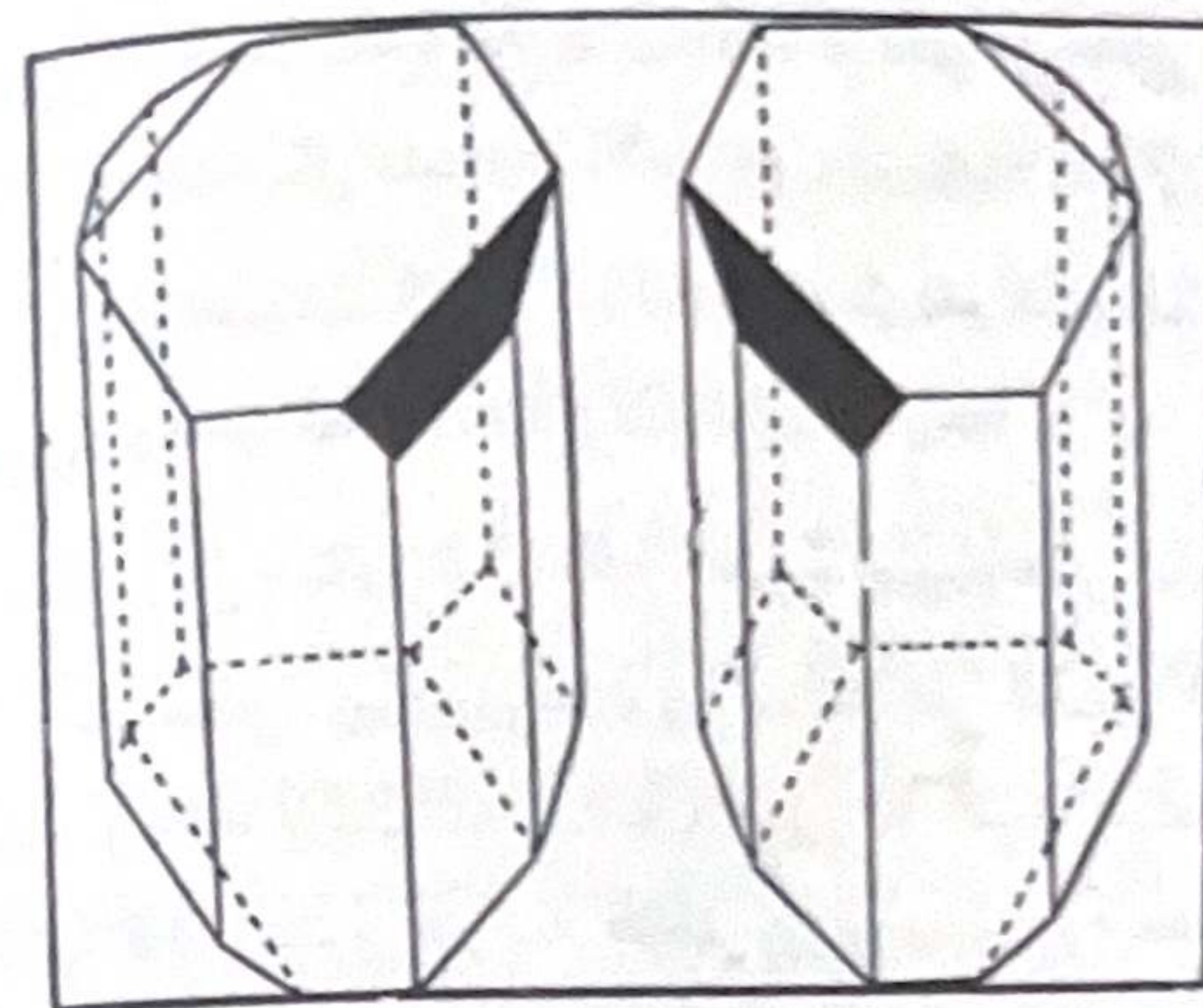
والبروتينات هي انها من جزيئات ضخمة للغاية ، وهذه ميزتها عن المركبات اللاعضوية التي نادرا ما تجاوزت وزنا جزيئيـات بقدر بضع مئات، لكن مقايسة احجام هذه البوليمرات العضوية كانت بعيدة عن مقدور الاساليب المتوفرة للكيميائي اواسط القرن التاسع عشر ، انما تمكن العلماء من الوقوف على حقيقة في غاية الاهمية وهي ان الحياة كانت مشيدة من جزيئات ضخمة.

توفي برزيليوس في عام ١٨٤٨ بعدما أنجز تنظيم الكيمياء وتوجيهها في مسارها ، وبنفس الوقت قدم كيميائي فرنسي شاب باسم لويس باستور (Louis Pasteur) ورقة الى أكاديمية العلوم في باريس يعلن فيها عن اكتشاف باهر كان قد انجزه • كان قد وجد ان بعض المركبات الكيميائية تتواجد كمكونات يمنائية وأخرى عسرائية (right-handed, lefthanded) مع كون كل منهما شبحا مرآتيا للآخر• وحامض الدردريك أو الصاموريك (tartaric acid) الذي كان يظهر في طرائق صناعية معينة ، وجد بأنه يضم نفس التركيبة كالحامض الارومي (native acid) الناتج عن تخمر العنب ولكنه اختلف عنه بخاصية واحدة فقط وهي انه عند النظر الى حامض الصاموريك الطبيعي من مكشاف استقطابي (polaroscope) أعطى هـذا الحـامض دورة (rotation) لحزمة من الضوء المستقطب (beam of polarised light) بينمـا الحـامض الاصطناعي (synthetic acid) أخفق في فعل هذا•

درس باستور بلورات حـامض الصاموريك الاصطناعي تحت المجهر واكتشف شكلين بلوريين كلاهما شبح مرآتي للآخـر ، وبفصـل البلورات بتأن وعناية بالغة بالملقطة أو الجفط وجد ان الشكلين كانا ظاهرتين متعاكستين على الضوء المستقطب ، فاستثبت أن ذلك كان ناجما عن عدم التناظر الجزيئي (Molecular asymmetry) وبرهـن ايضا على أن خاصيـة التشـابه البصري

(optical isomerism) هذه، أي الحيازة على نفس الصيغة الجزيئية مع اختلاف دورة الضوء المستقطب ، تحصل في مركبات عضوية أخرى، انما يوجد فقط شكل واحد للمنتوجات الطبيعية • وقد تم انتاج كلا الشكلين في التمثيل الكيميائي بنسب متساوية بحيث ان المادة لم تظهر أي تدوير للضوء المستقطب• ولما كان يوجد شكل متساوي الاجزاء (isomeric) واحد في الطبيعة • استنتج باستور ان المتعضيات كانت انتقائية السلوك نحو المتشاكلات او المتماثلات (isomers)، وهذه المعلومة هيأته لاكتشاف آخر•

حتى زمن باستور ، لم تكن الخميرة (yeast) تعتبر متعضية مجهرية وانما مجرد عامل محفز (catalyst) عضوي يساعد على تخمير الخبز وتخمر عصير الفواكه• وعندما طلبت منه صناعة الخمور أو النبيذ استقصاء مشكلة تردي منتوجاتها قام باستور بدراسة التخمر (fermentation) وحدس بصـواب أن تحويل السكر الى كحول كان نتيجة نشاط بيولوجي لمتعضية حية هي الخميرة (yeast) ، وخلص زيادة على ذلك الى القول انه توجد متعضية مجهرية نوعية معينة تتسبب في تخمر العصير وتمفر الحليب (أي تحمضـه) وتخمخم أو انتان اللحم• وبفضل انجازاته العملاقة في البيولوجيا المجهرية ، حقق باستور تفهما أفضل للحياة في المستوى المجهري• وبالتجربة البسيطة برهن على ان كل جرثومة أو ميكروبة مشتقة من ميكروبة حية سبقتها في الوجود وبذلك منح حتى المتعضيات المجهرية اسلافا سلالية وفي النهاية الغى فكرة التولـد التلقائي•



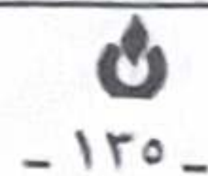
الشكل ٢/٧ – رسمان لبلورات حامض الصاموريك يوضحان الشبحين المرآتيين لايسومرين اللامتناظرين .



دخلت كيمياء المركبات العضوية عصرها الثاني في عام ١٨٥٨ مع ولادة النظرية البنيوية (structural theory) • وبهذا الوقت كانت الصعوبة تشتد بتزايد في مطابقة كل هذه الصيغ الجزيئية (molecular formulas) لهذا العدد المتنامي من المركبات العضوية • قام أوغست كيكولة (August Kekulé) بدراسة هذه المشكلة وبرهن على ان الكاربون رباعي التكافؤ (tetravalent)، أي ما معناه ان الكاربون يشكل اربعة اربطة كيميائية مع الذرات المتجاورة لها ، لكن الاهم من ذلك هو ادراكه أن بوسع الكاربون أن يرتبط ليس فقط مع عناصر أخرى وانما ايضا مع ذرات كاربونية أخرى مؤديا الى سلاسل طويلة تسمى بالمسلسلات الاليفاتية (aliphatic series) ، وفي وقت لاحق طرح نظرية المسلسلات العطرية او الاروماتية (aromatic series) المتألفة من جزيئات تتضمن حلقة البنزين (benzene ring) •

تمت اضافة بعد آخر في عام ١٨٧٤ عندما اقترح ياكوبوس فانت هوف (Jacobus vant Hoff) وجوزيف ليبيل (Joseph Le Bel) أن اربطة الكاربون الرباعية التكافؤ كانت موجهة نحو الزوايا الاربع للرباعي الاسطح (tetrahedron) مع الكاربون في المركز• أصبحت بنية او ريازة (architectude) المركبات العضوية ثلاثية الابعاد • ورغم ان تمثيل اربطة الكاربون كصورة مستوية موجهة الى زوايا قائمة قد استبقيت بدافع السهولة فانه كان قد ادرك ان الاربطة الموجهة الى زوايا رباعي الاسطح أعطت تمديدا حيزيا للمواد العضوية•

في عام ١٨٧٥ نجح أميل فيشر (Emil Fischer) الذي كان أحد تلاميذ كيكوله في البرهنة على البنية الثلاثية الابعاد للسكاكر وثبت صيغ بنيتها بالتمثيل (synthesis) وهي في العموم الاثبات الختامي على صحة صيغة ما• ولما كان النشاء غلوكوزا مربوطا معا في بوليمر فقد تم الاقرار بأن بنيته هي كالآتي:



فقد كان يوجد صنفان اساسيان من جزيئة النشأ هما البوليمر الطولي او الخطي (linear) والبوليمر المتفرع، وعندما تم التثبت في النهاية من الاوزان الجزيئية وجد أن البوليمر الطولي يتباين في الحجم من مائة (١٠٠) وحدة الى الف (١٠٠٠) وحدة غلوكوزية.

كانت ربازة المواد المعزولة من النباتات والحيوانات الاكبر حجماوالاكثر تعقيدا التي واجهها الكيميائيون مطلقاء وتبين ان قوى التمثيل الكيميائيالتي تمارسها المنظومات الحية هي فعلا باهرة وحتى رهيبة. فقد انتجت المتعضيات منتوجات طبيعية من احجام هائلة وتعقيد متناه ومحير مثل اليخضور او الكلوروفيل ($C_{55}H_{72}MgN_4O_5$ chlorophyll) والهيموغلوبين (hemoglobin) $(C_{738}H_{1166}FeN_{202}S_2)_4$ ، وذلك بسهولة تتجاوز الى اللامعقول ، بينما لتمثيل او تركيب (synthesise) حتى ابسط المركبات في المختبر يضطر الكيميائي الى استخدام درجات حرارة عالية وعوامل شديدة التفاعل للغاية ليحصل في العموم فقط على مردود منخفض من المنتوج المنشود . اذن، كيف كان ذلك ممكنا بالنسبة الى المنظومة البيولوجية؟

ظل الجدال محتدما طوال اكثر من خمسين عاما خلال النصف الاخير من القرن التاسع عشر بين اصحاب المذهب الحيوي وأصحاب المذهب الآلي أو الميكانيكي، وأصر الحيويون على ان التفاعلات البيولوجية ممكنة فقط بفعل المنظومات الحية بينما اعتقد الميكانيكيون ان العمليات البيولوجية جاءت نتيجة للتفاعلات الكيميائية ، رغم انها كانت معقدة للغاية ، انما مع ذلك كانت مركبات كيميائية.

عودة الى أعوام ١٨٣٠ كان الناس قد درسوا العملية الهضمية واكتشفوا وجود حامض الهيدروكلوريك في مستخرجات من المعدة ، ولما كانت حلمأة

الكربوهيدرات والبروتينات بالحوامض معروفة فانه بدا واضحا ان هذه هي عملية الهضم . ثم في عام ١٨٣٥ قام ثيودور شفان بعزل مسحوق عضوي من السوائل المعدية لم يكن حامضا ولكنه مع ذلك كان نشيطا جدا في تجزئة او تكسير اللحوم، فأطلق عليه اسم بيبسين pepsin = الهضمين ، وهي مشتقة الكلمة اليونانية الدالة على الهضم) كما تم العثور على محفزات عضوية اخرى ايضاء وفي عام ١٨٣٣ تمكن پين (Payen) وبيرسوز (Persoz) من عزل الدياستاز (diastase) من شعير الملت (Malt) الذي موه أو حلمأ النشأ الى سكر ، وأعلن يوستوس فون ليبيج (Justus Von Liebig) وفريدريش فولر (Friedrich Wohler) في عام ١٨٣٧ عن استخراج المستحلبين او الايمالسين (emulsin) من اللوز المر، واستخرج دونفرونفاوت (Dunfrunfaut) محفزا عضويا من الخميرة التي تجرد السوكروز (sucrose) وتحيله الى سكاكر بسيطة كالغلوكوز والفروكتوز (glucose and fructose) . لكن لما كان كل من هذه المحفزات العضوية يسفر عن الحلمأة فقد اعتبرها الحيويون كعوامل هضم، وهي عملية يمكن أن تتم خارج الجسم، واصروا في جدلهم على أن تحويل مركب عضوي الى آخر بالطريقة التي تغير الخميرة بها السكر الى كحول يتطلب متعضية حية.

وفي عام ١٨٩٧ حاول ادوارد بوخنر (Eduard Büchner) وهو كيميائي الماني، تحليل عملية التخمر الكحولي هذه . قام بطحن خلايا الخميرة بالرمل الى أن تفتتت كلها، ثم أزال الرمل والحطام الخلوي منها بالترشيح. وعندما أضاف بوخنر السكر الى الرشيحة التي كانت الآن خالية من كل خلايا خميرية، بدأ تخمر سريع على الفور ، وثبت له ان التخمر لم يحتج الى الخلية ، فان التفاعل البيولوجي كان يتم ليس بالمتعضية الحية وانما بمادة ما مستخرجة من الخلية . وأدرك بوخنر ان التخمر لم يكن عملية فزيولوجية (physiological)

وانما تفاعلا كيميائيا تحفزه انزيمة ، وأطلق على هذه الانزيمة اسم الزيماز (zymase) •

فلماذا نجحت تجربة بوخنر حيث اخفقت غيرها؟ والجواب على ذلك يكمن في ان الانزيمات (enzymes) هي بنى هزيلة ، ففي السابق كانت الطريقة المستخدمة لقتل خلايا الخميرة دائما تحطم ايضا التضاريس الهشة لجزيئات الانزيمة.

اثبت اكتشاف بوخنر ان العمليات البيولوجية التي تقوم بها المتعضيات هي بالفعل تفاعلات كيميائية تحفزها مكونات عضوية تسمى انزيمات يمكن تقصيها منفصلا بدون الخليـة • وأدرك بسرعة ان الهضمين والمستحلبين والدياستاز والانفرتاز (invertase) كانت ايضا بيومحفزات أو محفزات حية (biocatalysts) تنتمي الى صنف الانزيمة • غير انه لم يكن يعلم الكثير آنذاك عن التركيبة الكيميائية للانزيمة ولا عن طريقة فعلها ما عدا انها كانت ضخمة جدا وغير مستقرة (unstable) •

كانت ملاقاة أحجام جزيئية أكبر من أن تخضع للمقايسة دائما عقبة مزعجة ومثبطة لدراسة المواد البيولوجية ، فانه بدون أي تقدير ثابت للحجم الجزيئي بقي شبح النشاءات والبروتينات والانزيمات غامضا مبهما ومجهولا.

بدأ تحقيق التقدم في مجال مقايسة الاوزان الجزيئية الكبرى في عام ١٨٧٧ عندما حاول الخبير الالماني ڤيلهلم بفيفر (Wilhelm Pfeffer) استخدام أسلوب كان قد اكتشفه توماس جراهام (Thomas Graham) في اسكوتلندة قبل ذلك بسبعين سنة خلت • فقد كان جراهام قد علم ان صفيحة المهراق (parchment) الرقيقة بين محلول ملح من البروتين والماء النقي تتيح للملح الترشح من خلال مساماتها ولكنها تحجب البروتين لكون هذا ضخما للغاية. في الواقع تمر ايونات (ions) الملح وجزيئات الماء الصغيرة بطلاقة الى ان ـ

يتم التعادل بعدد متساو منها في كل من الجانبين • لكن اذا تضمن أحد الجانبين مادة مثل البروتين التي هي أكبر من أن تمر من خلال الغشاء شبه المرشح فانه عند التعادل للماء يزداد حجم أو كمية محلول البروتين لأن حجم وحدة من محلول البروتين يتضمن بالاساس ماء أقل من حجم وحدة من الماء، فسميت هذه الزيادة في الحجم أو الكمية بالضغط التناضحي (osmotic pressure)

أن ما ادركه بفيفر كان ان الضغط التناضحي يتوقف على عدد جزيئات البروتين ، ولما كان العدد في العينة الموزونة يعتمد على الحجم الجزيئي فان الضغط التناضحي ينتمي الى الوزن الجزيئي. جرى تهذيب هذه الطريقة في وقت لاحق من قبل خبير الكيمياء الفيزيائية الهولندي فانت هوف (Van't Hoff)

لقد كانت الصعوبة تكمن في كيفية رسم علاقة تناسبية موثوقة بين الضغط التناضحي الذي تظهر قراءته في التجربـة وبـين بعض الاوزان الجزيئيـة المعلومة • وبعد التثبت من صحة معايرة الاسلوب تسنى مقـايسة الضغط التناضحي لعينة موزونة من أي بروتين واحتساب وزنها الجزيئي•

لقد تبين ان الاحجام الجزيئية للبروتينات كانت ضخمة ، ووجد ان زلال او البومين البيض (egg albumin) يبلغ (٣٤٠٠٠)، والهيموغلوبين (٦٧٠٠٠)، وبضعة من البروتينات كانت دون العشرة آلاف (١٠ ٠٠٠)، والعديدة منهـا كانت أكبر من مائة الف (١٠٠ ٠٠٠) وهو المدى الاعلى لأسلوب المقايسة• ومعنى هذا ان البومين البيض كان بيو بوليمرا (biopolymer) يتضمن حوالي ثلاثمائة (٣٠٠) حامض اميني، والهيموغلوبين بيوبوليمرا ذي أكثر من ذلك العدد • وعندما جاء الفرز المركزي الفـائق السرعة (ultracentrifuge) ليلغي ويحل محل الضغط التناضحي في القرن العشرين كوسيلة للتحقق من الاوزان الجزيئية جاءت البروتينات الاكبر من مائة ألف (١٠٠ ٠٠٠) ضمـن نطـاق ـ

المقايسة . لكن امكانية ابتداء معرفة ترتيب السياق لجميع الحوامض الامينية والشكل الكامل لمثل هذه البنى العملاقة بدت بعيدة.

كانت الانزيمات سر الحياة المحير، فلم يكن يعلم أي شيء عن طبيعتها الكيميائية ولا عن طريقة فعلها ، ولما كانت الانزيمات محفزات مكينة للغاية فان مقادير دقيقة منها كانت كافية لتحفيز التحويلات الكيميائية النوعية ، وبالنتيجة فان مقايسة ناتج الفعل الانزيمي كان أكثر سهولة من اكتشاف الانزيمة بذاتها. اذ انه بوسع بعض الانزيمات ، مثل الانهيدراز الكاربونية (carbonic anhydrase) التي تنزع الماء من حامض الكاربونيك ، أن تقوم بتحويل أكثر من مليون جزيئة بالدقيقة الواحدة مقابل كل جزيئة من الانزيمة. لقد استلزم تحليل تركيز الانزيمة تهيئة كمية قابلة للقياس من عينة منقاة وكان ذلك مستوى من الاعداد صعب التحقيق بالاساليب المختبرية المتوفرة عند منقلب القرن. انما الامر الذي كان معلوما هو ان الانزيمات كانت غيرمستقرة للغاية وتفقد انشطتها بسرعة اذا جرى تسخينها الى مجرد(٥٦°) مئوية ، أي لا أكثر من تسع عشرة درجة فوق درجة حرارة الجسم. كانت هذه ظاهرة مواربة للغاية وشبيهة بأمر البروتينات ، ولهذا بدأ العديد من الكيميائيين بالاعتقاد أن الانزيمات كان في الحقيقة بروتينات تملك خواص التحفيز.

واستمر الجدال يعصف تارة لصالح هذه النظرية وأخرى ضدها طوال عقدين من السنين دون أن يتمكن أي من الجانبين تجميع قدر واف من البيانات لحسم النزاع. ثم في عام ١٩٢٠ قام ريتشارد فيلستيتر(Richard Willstäter) ، وهو كيميائي الماني شهير وفائز بجائزة نوبل بدراسة المشكلة . قام بتصفية عينة من الانزيمات بعناية بالغة الى أن اقتنع بنظافتها تماما من جميع الشوائب، ووجد ان المحلول الصافي كان لا يزال يحتفظ بالنشاط الانزيمي بالرغم من انه لم يجد أي أثر للبروتين. وبناء على ثقته من النتائج المستحصلة

أعلن فيلستيتر للعالم العلمي انه كان موقنا تمام اليقين ان الانزيمات لم تكن بروتينات ، لكنه كان مخطئا . لقد فات فيلستيتر أن يدرك أن بوسع الانزيمات ابداء نشاطها في مستويات تركيزية أقل بكثير من المقادير المطلوبة لاكتشاف البروتينات بالاساليب المعروفة آنذاك.

ثم في عام ١٩٢٦ قام أحد أساتذة الكيمياء الحيوية من جامعة كورنيل باجراء تجربة بسيطة الى حد اللامعقول أدت الى قلب العديد من المعتقدات الراسخة . فقد كان جيمز سامنر (James B. Sumner) يعمل منذ تسع سنوات جاهدا لعزل يورياز الانزيمة (enzyme urease) من الفاصوليا المتسلقة (jack beans) .كان لغز المشكلة ايجاد الوسيلة المناسبة لاجراء ترسيب انتقائي لليورياز من مستخرج خام لعزل ناتج صاف . وفي أحد الايام فيما كان سامنر يتبع اقتراح من أستاذه السابق بجامعة هارفارد لجأ الى استخدام الاسيتون (acetone) لاستخراج المسحوق أو الدقيق من الفاصوليا . بعد ترك المحلول ليترشح طوال الليل قام بفحص قطرة من الرشيح تحت المجهر وشاهد بلورات دقيقة ثمانية السطوح لم يكن قد رأى مثلها قبلا قط، فجمع هذه البلورات بواسطة جهاز الفرز (centrifugation) المركزي، ثم اذابها وفحص المحلول الذي كشف عن نشاط يوريازي شديد . وابانت الاختبارات اللاحقة ان البلورات كانت بروتينا ذا وزن جزيئي يبلغ (٤٨٣٠٠٠). وبذلك لم يكن سامنر قد أثبت ان الانزيمة كانت بروتينا فحسب، بل كان بالفعل قد قام ببلورته . فالمواد التي تحفز عمليات الحياة الاساسية كانت مركبات بطريقة الكيماويات العادية[1].

الفصل الثامن
الاساس الجزيئي للحياة

ان الصفة المذهلة في الكائنات الحية هي تمكنها من التناسخ طبق الاصل جيلا بعد جيل باستمرار، وهذا يحتم الاستنتاج أن لابد للمتعضيات في تركيبتها وسيلة ما لحفظ وتخليف خزين من المعلومات هو ميراثها من الاجيال السابقة • وهذه المعلومات تتضمن التعليمات اللازمة لتشيل المتعضية كاملة مع جميع مكوناتها •

لقد أدرك الانسان منذ عصور ما قبل التاريخ أن الوراثة قدرة تكمن في الخواص الجسمانية للنبات والحيوان ، لكن مكنون آليتها بقي مجهولا غامضا عبر القرون، ولم يتم اجراء أية دراسة علمية للوراثة حتى اواسط القرن الماضي• ففي عام ١٨٥٦ قام راهب أغسطيني باسم جريجور مينديل (Gregor Mendel) كان يربي أنواعا مختلفة من البزاليا العادية في حدائق الدير في برون (Brünn الآن Brno) في مورافيا Moravia الآن في تشيكوسلوفاكيا) باجراء التجارب على مهاجنة هذه الانواع وملاحظة انتقال الخواص والخلال المختلفة فيها الى الجيل الاول والثاني والاجيال اللاحقة• وبعد عشر سنوات ، في عام ١٨٦٦، نشر مينديل قواعد احصائية حول الوراثة في نشرة اتحاد البحوث الطبيعية في برون• لم تلق هذه الورقة اهتماما يذكر في حينها وطواها غبار النسيان ، لكن لمجرد أن يعاد اكتشافها في عام١٩٠٠، عندماقام ثلاثةخبراء نباتيين اوربيين هم كارل اريخ كورنز (Carl Erich Correns) من برلين واريخ تشرماك فون سايسنيغ (Erich Tschermak Von Seysenegg) من فينا وهوغو دفريس (Hugo De Vries) من لايدن بهولندة في آن واحد

وعلى اتصال بالاعلان عن نتائج مسائلة لنتائج تجارب مينديل انما لمجرد ان يجدوا أن البيانات التجريبية والنظرية الخاصة بها كانت قد نشرت قبل ٣٤ عاما من ذلك التاريخ.

استمرت المناقشات العظمى حول النشوء باحتدام بالغ طوال النصف الثاني من القرن التاسع عشر وامتدت الى القرن العشرين ، ولتفسير نظرية داروين (Darwin) قام البيولوجيون بطرح الرأي ان الخواص البيولوجية ترثها عوامل بدنية تنتقل عبر الأجيال المتعاقبة، وهنا قام البيولوجي الانكليزي وليام بيتسون (William Bateson) بتسمية هذا الفرع من البيولوجيا أو علم الاحياء باسم علم التكوين أو علم الوراثة (genesis) في عام ١٩٠٦، وذلك اشتقاقا من كلمة التكوين (genes)، وفي اشتقاق رجوعي غريب صار يطلق على عوامل الوراثة (inheritance factors) اسم الجينات (genes) لكن ما هي الطبيعة الكيميائية الحقيقية للجينة؟

كان قد جرى عزل المادة او المكنون الجيني (genetic substance) من نوى الخلايا بما يقرب من سبعين (٧٠) عاما قبل ادراك مغزاه البيولوجي الحقيقي. ففي عام ١٨٦٨ قام الشاب السويسري المتدرب على الطب بالتوجه الى مدينة توبنجن (Tubingen) بالمانيا قادما من مدينة بازل (Basel) على الحدود الفرنسية الالمانية السويسرية . وفي الرابعة والعشرين من عمره كان لتوه قد اكمل الامتحان لنيل الدكتوراه ، وقد جاء الى المانيا للعمل لدى ارنست هوبه سايلر (Ernst Hoppe-Seyler) الكيميائي الفسيولوجي الالماني العظيم. كان الخريف قد حل قبل أن يبدأ ميشر ببحوثه العليا ما بعد الدكتوراه، الا انه بحلول شباط ١٨٦٩ كتب الى أستاذه السابق بسويسرة يخبره عن عزل مادة جديدة من نوى الخلايا.

لم يكن يعرف الكثير عن نواة الخلية في هذا الزمن ، أما وظيفة المادة الخلوية فقد كانت مجهولة كليا تقريبا . في أول الامر كان ميشر قد انتوى مواصلة بحوثه في خلايا اللمف (Lymph Cells) لكن محدودية توفرها اضطرته الى استعمال خلايا القيح (pus cells) التي استخرجها من الضمادات الجراحية. قام أولا بغسل هذه الخلايا بمحلول كبريتات الصوديوم (sodium sulfate solution) ثم بترشيحها ومعالجتها بالقلي (Alkali) لتنظيفها وازالة ما قد علق بها من شحوم وحامض الكربوليك (carbolic acid). بعد ذلك قام ميشر بترجيج فتيت الخلايا بعنف لفترة طويلة في خليط من الايثر (ether) وحامض الهيدروكليك المخفف للغاية ، واما أن ذابت الدهون ومنتوجات التفسخ والحطام في الايثر أو انها احتبست في الفاصل البيني للسوائل غير القابلة للامتزاج، واستقرت النوى الاكثف قليلا ببطء وتساقطت الى قاع الطبقة المائية كرواسب دقيقة ضاربة الى البياض[1].

تضمنت مادة ميشر المستخرجة من نوى القيح، والتي اسماها بالنووين (nuclein) نسبة كبيرة من الفوسفور (phosphorus). وحتى هذا الوقت كان الليسثين (lecithin) الناتج الطبيعي الوحيد المعروف الذي يحتوي على الفوسفور . كان النووين (nuclein) عقدة أو مشبوكة ((complex)، وذلك لتمييزه عن المركب (compound) من البروتين وحامض النوويك ، لكن اجراءات التنقية اللاحقة أفضت الى انفصال حامض النوويك ككتلة من مادة شبه خيطية ليفية طويلة يمكن تجميعها من المادة المترسبة بلفها على طرف قضيب زجاجي . على ما يظهر ان ميشر، بدون معرفة الطبيعة البنيوية لنووينته (nuclein) ، كان قد أدرك ان لهذه صلة ما بالوظيفة الوراثية أو الجينية. وبقي الامر على هذا الوضع حتى عام ١٩٤٤ حين اثبتت تجربة قام بها أو تي

ايفري[٢] (O.T. Avery) أن الشاب السويسري كان قد عزل مادة هي الاساس الكيميائي للخواص الوراثية لجميع الكائنات الحية، ألا وهي حامض النوويك (nucleic acid) •

جاء مستحضر ميشر من النووين بعشرة أعوام بعدما قام داروين بنشر مؤلفه: «حول أصل الانواع»، وبحلول عام ١٨٨٠ كان قد تم التثبت من عملية الانقسام الفتيلي (mitotic process) واقرارها، واكتشف البيولوجيون العاملون بالمجهر الضوئي أن جميع الخلايا تتضمن مادة نووية بعدد معين من وحدات شبه قضيبية أو خيطية تسمى بالكروموسومات أو الصبغوسومات (chromosomes) • والصبغوسومات هي الحاملات لعوامل وراثية نوعية تسمى بالجينات (genes)، وكشفت الدراسات المجهرية التفصيلية طريقة تناسخها في التكاثر الخلوي• وعند عزلها وتحليلها وجد ان هذه الصبغوسومات تتضمن البروتين وحامض النوويك بنسب متساوية تقريبا•

ان حامض النوويك هو المادة البوليمرية الحاوية للفوسفور والموجودة في النووين الذي كان ميشر قد عزله من خلايا القيح في عام ١٨٦٨• واكتشف الكيميائي الالماني البريخت كوسل (Albrecht Kossel) في جامعة هايدلبرغ اثناء عمله على حامض النوويك المأخوذ من الغدد الدرقية (thymus glands) للعجول ان هذا الحامض يتضمن قواعد (bases) نيتروجينية تسمى بالبيورينات purines = مركب عضوي بلوري عديم اللون $C_5H_4N_4$ ، المادة المولدة لمجموعة مركبات حامض اليوريك uric acid)• وبالبيرميدينات (Pyrimidines = مركب عضوي بلوري سائل عديم اللون $C_4H_4N_2$ والشكل الجوهري لعدد من القواعد (bases) بعضها هي مكونات او مقومات حامض النوويك)، وقام بعزل وتشخيص مشتقات من كل من هاتين القاعدتين• ولما كان حامض

النوويك بوليمرا يتألف من أربعة أنواع من الوحدات الفرعية (subunits) فقط فانه بدا، مثل النشاء، انه يتكون من جزيئة سلسلية رتيبة طويلة•

خلال العقود القلائل الاولى من هذا القرن وفيما كان البيولوجيون يعملون على توسيع علم التكوين أو الوراثة بتوضيح العلاقة الرياضية (mathematical relation) للوراثة البيولوجية ، أحرز الكيميائيون نجاحا كبيرا في ايضاح دور الانزيمات في التحكم بالعمليات الحياتية • لم يملك أي من الفريقين أية دراية جلية بالطبيعة الكيميائية للجينة ولا بكيفية صنع الانزيمات • ثم في السنوات الثلاثينية من هذا القرن قام الخبيران التناسليان الامريكيان (geneticists) جورج بيدل (George Beadle) وادوارد تيتم[٣] (Edward Tatem) ، اللذان كانا يعملان على العفن الاحمر العادي للخبز (Neurospora crassa) ، بربط النظريات الداروينية بالكيمياء بالتدليل على أن الانزيمات تتحكم في البنية (structure) والجينات تتحكم في الانزيمات ، وادركا ان الجينات مدونة (coded) بكيفية ما للانزيمات وطرحا وجود جينة نوعية لكل أنزيمة•

انها لبراعة باهرة حقا من الخلايا أن تقوم بمكاثرة البروتينات المحتوية على مئات الحوامض الامينية تكرارا وتماما بنفس السياق، ولابد انه تتم عملية (polymerisation) الحوامض الامينية بالضبط بنفس الترتيب (order) في مرسومة أو قالب (template) لكي تتمكن من تمثيل البروتينة مرارا وتكرارا بنفس التركيبة تماما وبمنتهى الدقة ، ولابد أن هذه المرسومات تتضمن في تركيبتها المعلومات الوراثية (heredity information) •

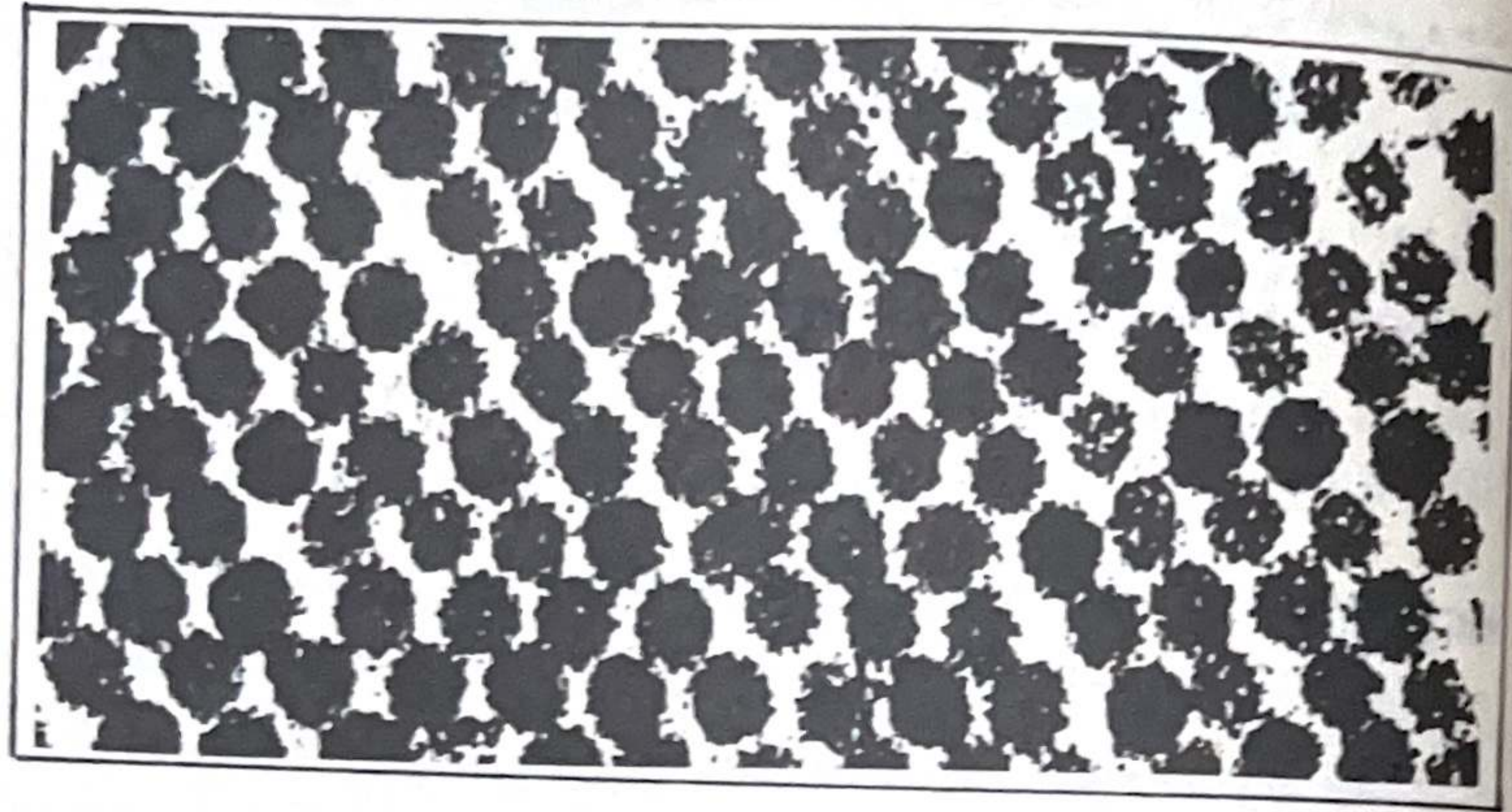
بالنظر الى القدر الهائل من المعلومات التي ستحتاج المتعضية اليه في مادتها الوراثية فقد سلم البيولوجيون في العموم بأنه سيترتب على المادة التي

تصبح العامل التكويني أن تتضمن عددا كبيرا من الوحدات الفرعية لتعمل هذه كرسائل أو رموز في الدستور المعلوماتي (informational code) ، ولما كانت البروتينات تحتوي على أكثر من واحد وعشرين نوعا من الحوامض الامينية فقد بدت هذه الجزيئات الضخمة مناسبة للغاية للقيام بهذا الدور ، وطوال السنوات الثلاثينية ظل أغلب العلماء البيولوجيين والبيوكيميائيين يعتقدون ان البروتين الموجود في الصبغوسومات كان المادة التكوينية ولم يعيروا حامض النوويك غير أهمية ضئيلة.

وخلال نفس العقد ، في عام ١٩٣٥، أجرى ويندل ستانلي[٤] (Wendel Stanley) العامل في معهد روكفيلر بنيويورك تجربة مذهلة . فقد قام يبللورة فيروس (virus) . ان الفيروسات كائنات بيولوجية تكمن في المنطقة البينية الواقعة بين الخلايا الحية والكيميائيات الجمادية ، وتتألف من البروتين وحامض النوويك بدون أية مكائن (machinery) خلوية للتكاثر والتأيض. ولما كانت الفيروسات تنقصها وسائل التوالد فانها تتواصل او تتأبد بطريقة حشر عاملها التكويني (genetic factor) في الخلايا فتستولي على ماكنة الخلية الموبوءة أو المعدوة لتقوم بانتاج نسخ من الفيروس. لذلك، فان بلورة الفيروس كقدر من الملح أكد للعلماء احتمال امكانية عزل الجينات في النهاية ودراستها كمركبات كيميائية (chemical compounds) . وبذلك تقدم اساس الحياة خطوة أقرب الى كونه مسألة كيميائية صرف.

ثم في عام ١٩٤٤ قام الفيزيائي الشهير النمساوي الولادة أرفين شرودينغر[٥] (Eruin Schrödinger) المقيم في دبلين كلاجىء من المانيا النازية، بنشر كتيب صغير بعنوان « ما هي الحياة؟ "What is Life?" » وفي هذا الكتيب شدد على زملائه الفيزيائيين ان البيولوجيا كانت بلغت عتبة مسألة اساس الحياة

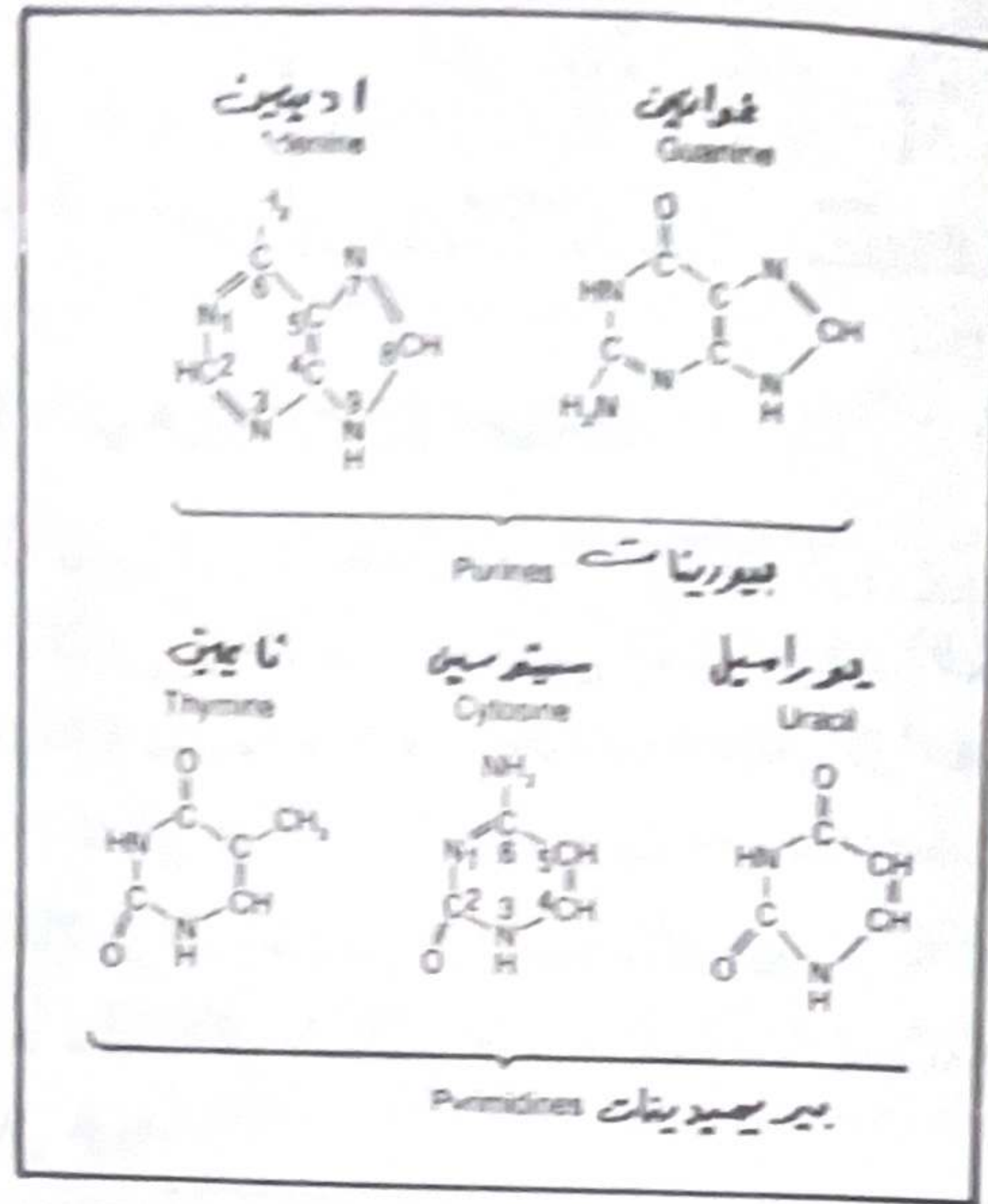
البالغة الخطورة وانه يتوجب عليهم التجلد وعدم التراجع أمام صعوبة تفسير الحياة بمنطوق القوانين الفيزيائية العادية ، وأكد عليهم وجوب السعي الى ايجاد كيفية تمكنهم من تفسير البيولوجيا على المستوى الجزيئي.



الشكل ١/٨ ـ صور ضوئية بالمجهر الالكتروني لفيروس الثؤلول البشري. والفيروس قيض (shell) عشريني الاسطح يتضمن دنا DNA. وهذا الفيروس بالذات لا غلاف له، والصورة مكبرة مائة وعشرين (١٢٠) الف مرة.

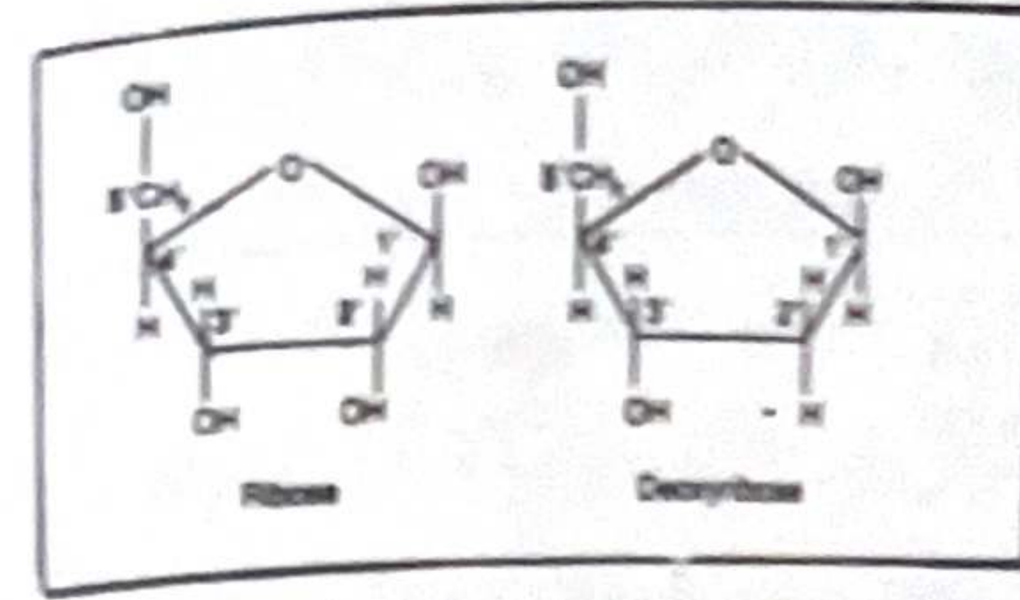
يمكن حل اللغز في الفيروسات التي تغذي البكتيريا والمسماة بآكلة البكتيريا او البكتيرية الاغتذاء (bacteriophages) • ففي عام ١٩٥٢ قام الفرد هيرشي (Alfred Hershey) ومارثا تشيس (Martha Chase) بالتدليل على ان آكل البكتيريا يدخل في البكتيرة وانه هو لوحده المسؤول عن (DNA) تكاثر الفيروسات الجديدة ، وذلك باستعمال الفوسفور والكبريت الاشعاعي كمعالم لتمييز ومتابعة البوكيميائيات المعنية. فتقبل البيولوجيون لهذه الشواهد الباهرة على أن الشكل الكيميائي للجينات هو حامض النوويك بعد أن كانوا يعتبرون ان البروتين هو مادة الوراثة • وسجل هذا الاكتشاف بداية علم البيولوجيا الجزيئية (molecular biology) •

عندما قام كوسل (Kossel) بتحليل حامض النوويك في القرن الماضي وجد اثنين من البيورين (purines) اسماها بالادينين (adenine) أو الغدانين وهو قاعدة بيورينية بلورية بيضاء صيغتها $C_5H_5N_5$ مشتقة من حامض النوويك المتكون في غدة البنكرياس والطحال الخ) والغوانين (guanine = قاعدة عضوية صيغتها $C_5H_5N_5O$ وهي أحد مقومات حامض الريبونوويك ribonucleic acid أو رنأ (RNA) والحامض الخلوي الصبغي دنأ (DNA) وموجودة في جميع الانسجة النباتية والحيوانية)، واثنين من البريميدين (pirimidines) اسماها بالسيتوسين ($C_4H_5N_3O$ = قاعدة نيتروجينية cytosine أحد مقومات الحوامض النوويك المختلفة وأحد المواد المكونة للدستور التكويني في جزيئات الدنأ (DNA)، والثايمين (thymine = قاعدة بيريميدينية بلورية بيضاء $C_5H_6N_2O_2$ وأحد المواد المكونة للدستور أو المدونة التكوينية "genetic code" في جزيئات الدنأ•) وبعد ذلك أفضت البحوث التي أجريت على حامض نوويك النبات الى اكتشاف بريميدين ثالثة اسميت باليوراسيل (Uracil — أنظر الشكل ٨/٢)•



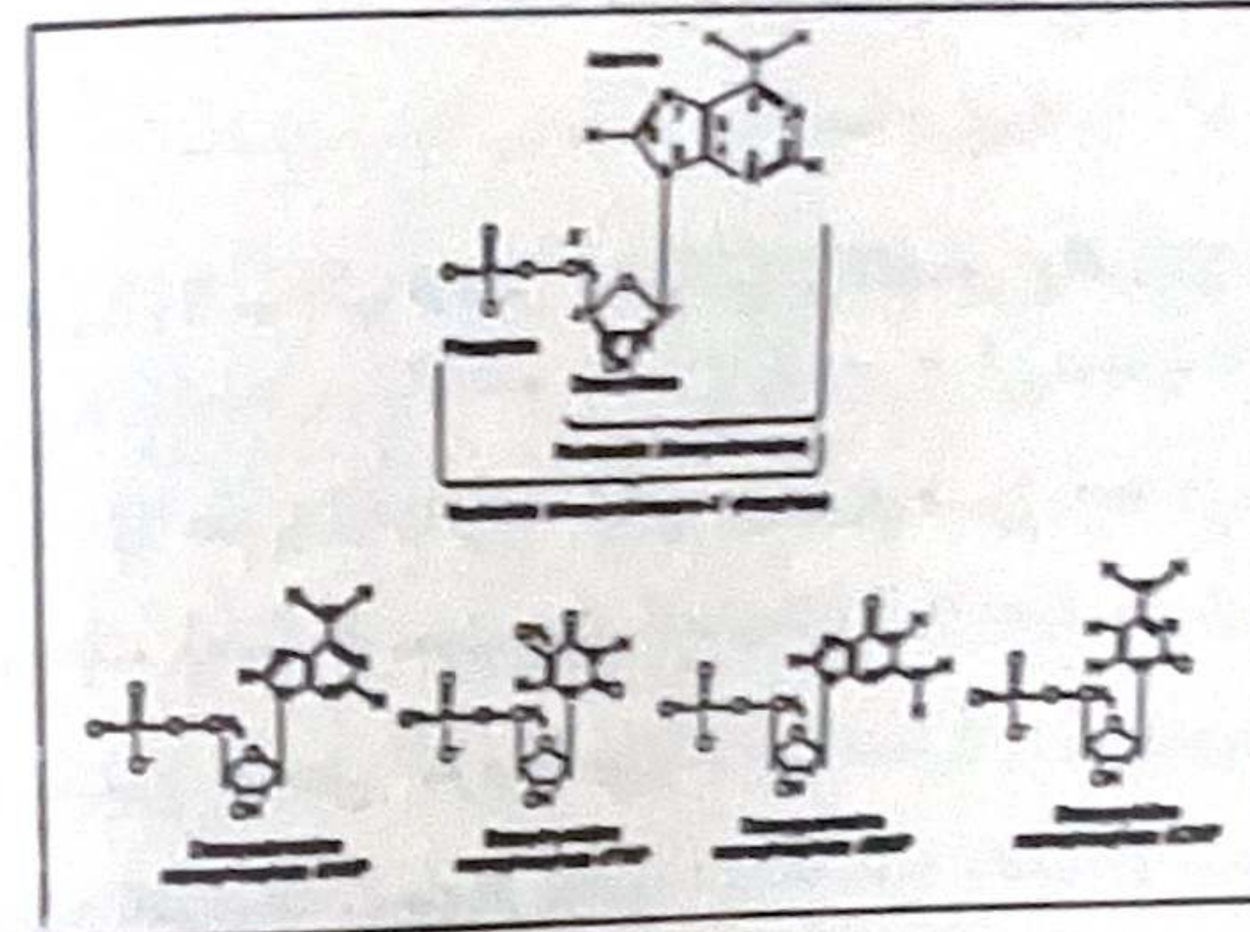
الشكل ٢/٨ ـ بنى الادنين والغوانين والثايمين والسيتوسين واليوراسيل

في عام ١٩١٠ وجد ليفين (Levine) من معهد روكفيلر ان حوامض النوويك ايضا تضمنت سكرا خماسي الكاربونات (five-carbon sugar) فقد تضمن حامض النوويك من النباتات سكر الريبوز (ribose sugar) بينما تضمن حامض النوويك الحيواني نفس السكر انما ناقصا أوكسجينة واحدة فقط وبناء على ذلك أطلق عليه اسم دي اوكسي ريبوز (Deoxy ribose — أنظر الشكل ٣/٨٠)



الشكل ٣/٨ - بنى الريبوز والدي اوكسي ريبوز

تتألف الوحدات البنيوية لحامض النوويك من قاعدة البيورين والبيوريميدين مربوطة بذرة الكاربون الطرفية (رقم ١) من السكر ويتضمن الجزء السكري مجموعة فوسفاتية ملتصقة به، وهذه المقومات الثلاثة ، أي القاعدة والسكر والفوسفات ، تشكل معا نووتيدة (nucleotide) • وعندما تنضم النووتيدات من خلال دايستر فوسفاتي (phosphate diester) برابط (3'5'-linkage) من سكاكرها فانها تخلق السلاسل الطويلة المعروفة بحوامض النوويك (أنظر الشكل ٤/٨)•



الشكل ٤/٨ – بنى النووتيدات القليلة الاوكسجين او الدي اوكسي نووتيدات

وسرعان ما بدا واضحا انه يوجد نوعان من حامض النوويك، ويسمى بحامض الدي اوكسي ريبونوويك deoxy ribonuleic acid المصطلح عليه بالعربية بالحامض الخلوي الصبغي واختصاره دنأ (DNA) (أنظر الشكل ٥/٨). والنوع الآخر من حامض النوويك ايضا يتضمن أربع قواعد ولكنه احتوى على اليوراسيل (uracil) بدلا من الثايمين (thgymine)، ولما كان سكر اليوراسيل ريبوزا فقد أطلق عليه اسم حامض الريبونوويك ribonucleic acid ويرمز اليه هنا بالاختصار رنأ RNA على غرار زميله السابق ذكره.

وأخيرا ادرك البيولوجيون ان النوعين من حامض النوويك، الدنأ (DNA) والرنأ (RNA) لا يميزان النباتات والحيوانات بل ان كليهما موجود في جميع الكائنات الحية، وتبين ان المبادىء التكوينية (genetic principles) متواجدة بالاستواء في جميع أشكال الحياة ، وان استمرارية المواد الحية من خلال التكاثر مبنية على تكاثرية الجينات التي يجري نسخها ومناولتها من جيل الى جيل، مع كون مادة التوارث هي نفسها في الفيروسات كافة والانسان على حد سواء، وهذه المادة هي المسماة بالدنأ (DNA) •

يجري استعمال فقط اربع وحدات كيميائية أساسية لخلق المطبوعة (blueprint) في سياق مدستر (coded sequence) من الوحدات في جزيئة معلوماتية حيث يمكن ان يمتد الوزن الجزيئي الى آلاف الملايين حتى في البكتيريا. يؤلف مقطع من الدنأ جينة تحمل المعلومات لسياق الحوامض الامينية لبروتين معين، ويمكن ان يمتد عدد الجينات في البكتيريا الى الآلاف ، ولكنه يبلغ حتى المائة الف (١٠٠ ٠٠٠) في الثدييات•

ان التكاثر الخلوي هو في النهاية تكاثر جزيئي، وتبين ان الطبيعة الفريدة للبنية الكيميائية لحوامض النوويك تتيح لهذه البيوبوليمرات ليتم استنساخها بدقة صادقة • وفي البروكاريوت ، مع الدنأ المستدير فيها،

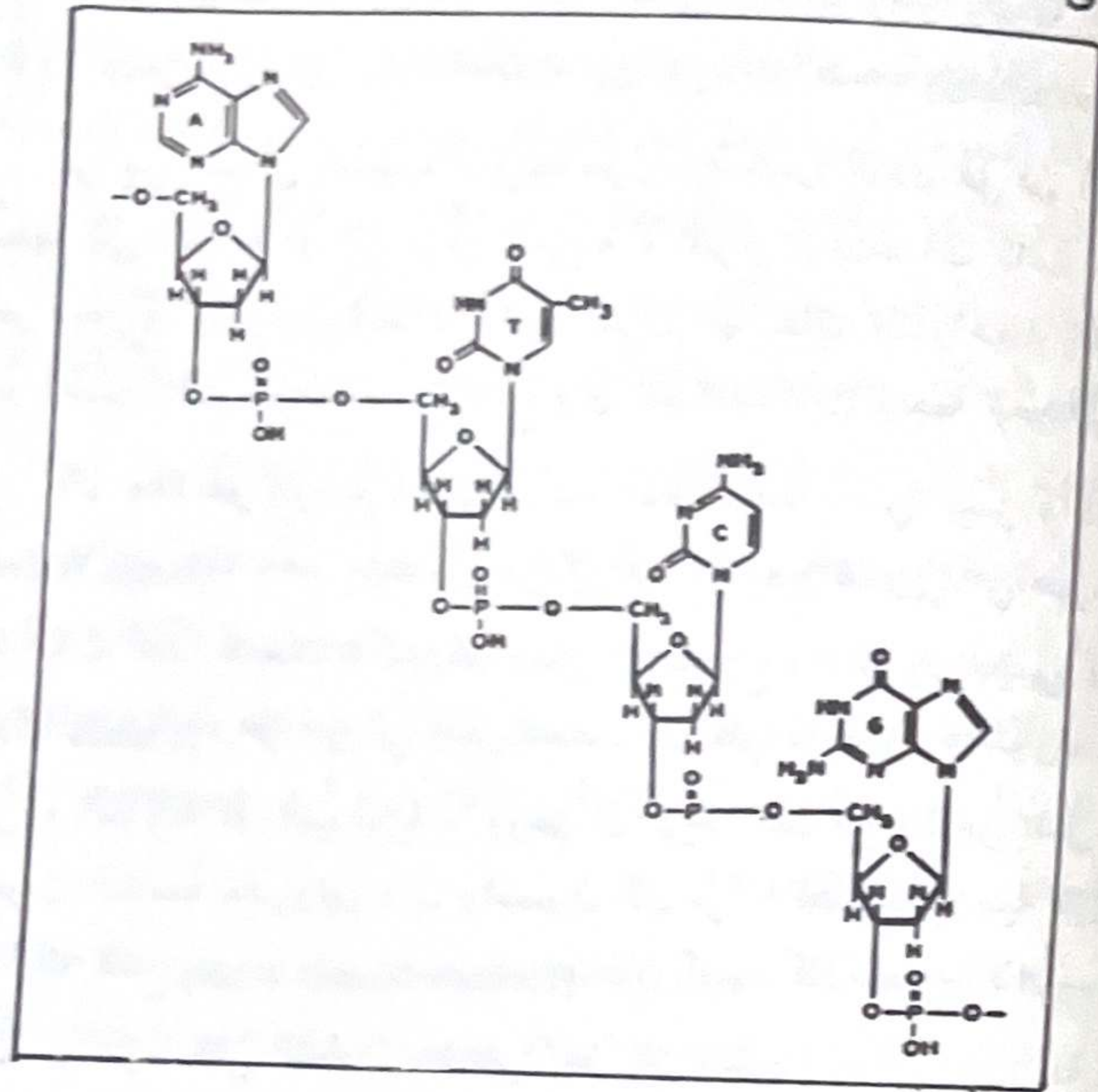
يتالف التكاثر الخلوي من تاسخ حامض النوويك متبوعا بالانشطار الثنائي لخليتين ابنتين تحمل كل منهما الكمية التامة من المادة الخلوية . ان كيمياء هذه بسيطة ومباشرة ويجب عليها أن تمثل طريقة التاسخ المتخذة في أعقاب نشأة المنظومات الحية الاولى. اما الخلايا اليوكاريوتية ، من جهة أخرى، فتمتلك طرائق تكاثرية دقيقة ومحكمة لدرجة تجعل من المحتم انها قد استغرقت زمنا طويلا جدا للنشوء.

ولكي يتمكن الدنأ أن يكون المستودع المعلوماتي للخلية فانه قد تحتم تواجد طريقة كيميائية لتصنيع النسخ الجزيئية . انما قبل محاولة تفهم كيفية انجاز هذا استلزم الامر تحديد الترتيبة البنيوية التامة والتحقق منها . ان حوامض النوويك هي بولي نووتيدات (Polynucleotides) متواجدة بشكل سلاسل طويلة غير متفرعة ؛ لكن فقط التضريس الثلاثي الابعاد المضبوط فيها يمكن أن يكشف عن طريقة اشتغال وظيفتها البيولوجية . وهذا أطلق البحوث للكشف عن سر ريازة الدنأ (DNA Architecture) .

في عام ١٩٥٠ حقق أروين تشارغاف (Erwin Chargaff) وتلاميذه في جامعة كولامبيا اكتشافا غريبا . فقد لاحظ هؤلاء بعد تحليل تركيبة البيورين والبريميدين في الدنأ المختلفة بعناية فائقة ان عدد قواعد الادنين تقريبا دائما تساوى مع عدد الثايمينات، وان عدد قواعد الغوانين والسيتوسين ايضا كان تقريبا متساوياه وبعبارة أوضح وجدوا أن (ملاحظة: يجب قراءة المعادلات والصيغ الرياضية دائما من اليسار الى اليمين، سواء كانت بالاعداد أو الحروف) وجدوا أن A=T وG=C؛ وكانت هذه هي الحال بالرغم من التفاوتات الكبيرة في مقادير A=T بالنسبة الىG=C في الدنأ المختلفة.

وفيما كان مختبر تشارغاف يقوم بتحليل التركيبة القاعدية للدنأ ، كان روزالند فرنكلين (Rosalind Franklin) وموريس ويلكنز (Maurice Wilkins)

من كلية الملك بلندن يستخدمان كريستالوغرافيا الاشعة السينية (x-ray crystallography) للحصول على بعض القايسات الدقيقة للدنأ . وفي كاليفورنيا قام لايناس بولينك (Linus Pauling) وزملاؤه(٧) في معهد كاليفورنيا للتكنولوجيا بمحاولة لحل مشكلة بنية الدنأ باستخدام أطوال وزوايا الروابط الخاصة بالمناظرين الكميين (quantum theorists) للاهتداء بها في تشييد نماذج ذرية (atomic models) . كانت كلتا جماعتي كيميائيي لندن ومعهد كاليفورنيا تميل الى الاعتقاد بأن جزيئة الدنأ تتضمن ثلاث سلاسل بولي نووتيدية.



الشكل ٨/٥ – جزء رباعي النووتيدة من وهن واحد من الدي ان اي يتالف من دي اوكسي نووثيدات الادنين (A) ، والثايمين (T) والسيتوسين (C) والغوانين.

كانت الروابط الهيدروجينية هي قوة الاجتذاب الرئيسة التي بوسعها أن تمسك اوهان البولي نووتيد معا. لكن الاربطة الهيدروجينية ضعيفة بالمقارنة بالاربطة الثنائية التكافؤ ، ويتطلب قوة بقدر ١٢ الى ٢٤ كيلو جول بالمولة (KJ/mole) =(الكيلوجول الواحد= ٢٣٩ر٠ كيلوسعرة او كالوري والمولة Mole هي الجزيئي الغرامي، ويرمز الى هذه لاحقا هنا بـ كج للكيلوجول ، وكج/م للكيلوجول بالمولة) لكسر رابط ثنائي التكافؤ ، بينما تكفي طاقة تتراوح ما بين واحد الى ثلاثة (١ــ٣) كج/م لكسر الاربطة الهيدروجينية. مع ذلك ، للاربطة الهيدروجينية أهمية عظمى في البيولوجيا لكونها بالاصل مسؤولة عن نوعية (specificity) التفاعلات ما بين الجزيئات الضخمة (Macromolecules)

من بين المسائل الخطيرة المحرجة حول بنية الدنا كانت هل ان القواعد متجهة الى الخارج أو الى مركز الجزيئة . اقترح بولينك انها كانت متجهة نحو الخارج، لكن روزالند فرانكلين شعرت انها تملك الشواهد على ان الفوسفات كانت متجهة نحو الخارج وان القواعد كانت متجهة نحو المركز.

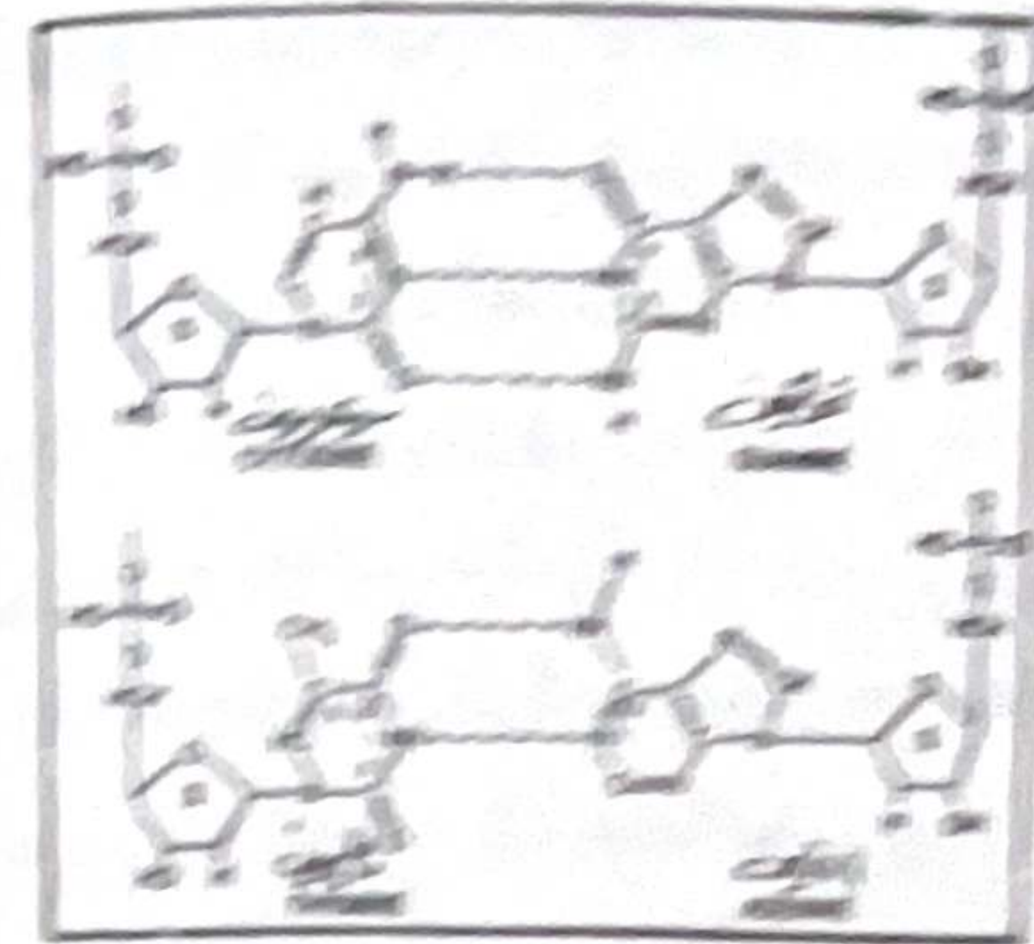
كان هذا هو الوضع القائم في عام ١٩٥١ عندما وصل جيمز واطسون (James Watsun) ، وهو زميل امريكي في الثانية والعشرين من عمره في الدراسات العليا لما بعد الدكتوراه، وصل الى كمبرج والتقى بفرنسيس كريك (Francis Crick) وهو فيزيائي يعمل للحصول على درجة الدكتوراه في الفيزياء الحيوية او البيوفيزياء. ورغم ان كريك كان في الظاهر يعمل في البحوث الخاصة بالبروتين وان واطسون كان مركزا اهتمامه في بنية فيروس موزائيك التبغ (Tobacco Mosaic Virus)، فان كليهما كان شديد الاهتمام بالدنا واعتزما على التعاون معا على حل لغز بنيته.

كشفت انماط الحيود (diffraction) للاشعة السينية لفرانكلين عن تضريس منتظم ومتراص، وكان بولينك قد دلل على ان البنية اللولبية هي

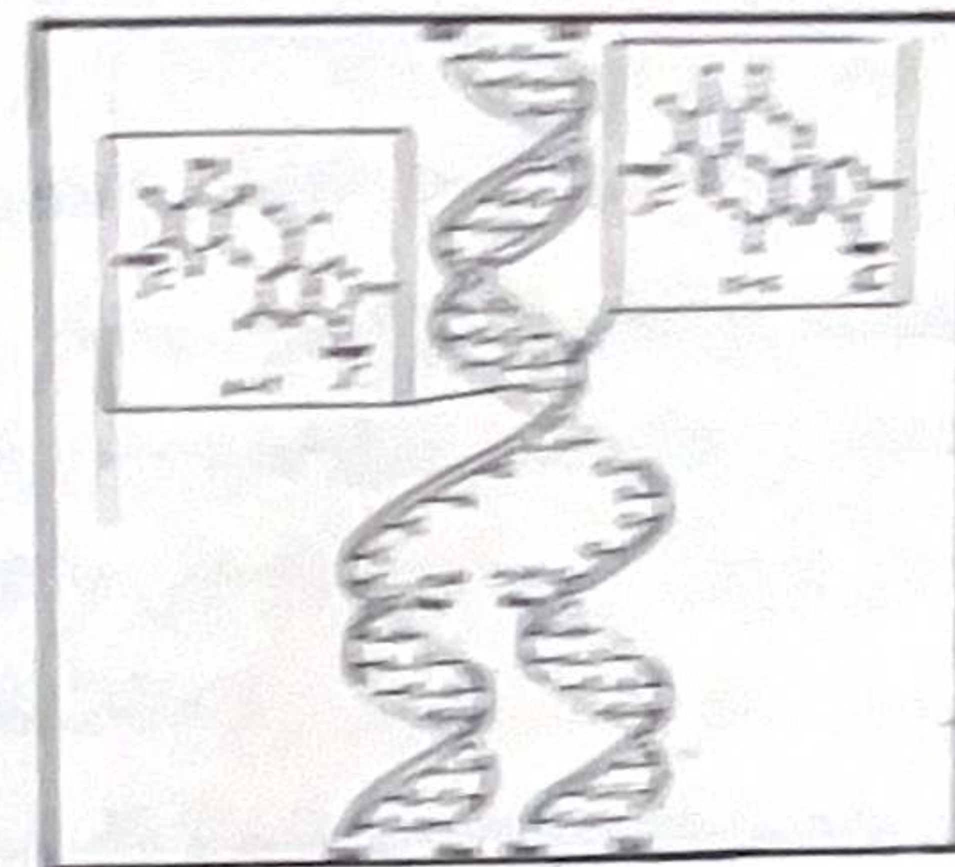
التضريسة المفضلة للجزيئات الضخمة ، وهذا الهب شغف كريك باللولبيات او الحلزونيات (helix) . لكن المسألة الخطيرة الاهمية كانت الاساس الكيميائي للطريقة التي تستخدمها المتعضيات لاستنساخ الدنا الخاص بها، على ما يظهر كان للبيورينات والبريميدينات أهميتها الخاصة بها . واستنادا الى التعليل ان الطبيعة تنزع الى عمل الاشياء في ازواج، نبذ واطسون فكرة الثلاثية الاوهان وارتأى انه من الاكثر معقولية بناء نموذج من وهنين مفتولين على بعضهما مع القواعد موجهة نحو المركز، وبعدما عمل قطعا من المقوى لتمثيل القواعد الاربع حاول بناء نموذج بالاربطة الهيدروجينية مع كل قاعدة مواجهة لقاعدة مماثلة بحسب ما أمكن تصور حصول عملية نسخ وهن من الاوهان. لكن هذا النموذج لم يأت متراصا كما تبين من الدراسات بالاشعة السينية. وكما أشار جيري دوناهيو (Jerry Donahue) وهو خبير كريستالوغرافي امريكي يعمل بنفس المختبر، كان واطسون ، تماما كجميع الآخرين، يستخدم الشكل التعادلي التماثلي (tautomeric) الخاطىء للقواعد، وشعر دوناهيو ان القواعد تواجدت بشكل الكيتو (Keto) وليس بشكل الاينول (Enol) .

(ملاحظة: Keto هي البادئة الدالة على الكيتون Keton وهو مركب كيميائي عضوي يتضمن مجموعة الكاربونيلات carbonyls الثنائية التكافؤ CO بالاتحاد مع اساسين هيدروكاربونيين اثنين 2 hydrocarbon radicals— اما الاينول Enol فهو الشكل التماثلي التعادلي لمركب compound يتضمن المجموعة (>C:C(OH)—) .

وبناء على هذا قام واطسون باعداد قصاصات مقوى جديدة وحاول مرة أخرى تركيب الازواج القاعدية لاعداد نموذجه، وفي هذه النقطة اكتشف ان القصاصات الخاصة بالادنين مع الثايمين كانت من نفس شكل وحجم قصاصات الغوانين مع السيتوسين، وعلى حين غرة اتضح له مغزى نسبتي تشارغاف: A=T ، G:C .



الشكل ٨/١ ــ ترتيبة ازواج النوويته في الدنا DNA



الشكل ٨/٢ ــ رسم ايضاحي بين انفكاك تلاليف جزيئة الدنا وتناسخها.

ونظرا لامكانية مسك ازواج الادنين–ثايمين والغوانين–سيتوسين معا على الاقل برابطتين هيدروجينيتين لاعطاء أشكال متطابقة التشابه تقريبا فان النموذج سيكون متمشيا مع الترتيبة المتراصة البينية في التحليل بالاشعة السينية . وبدلا من الاستنساخ من خلال توليفة الكل–مثل كشف النموذج عن ان جزيئة الدنا تتألف من وهيتين اثنين من سلاسل البولي نوويتيد ملتويتين في لولب مزدوج ممسوكا معا بالاربطة بين القواعد المتتامة ، مع احد الوهيتين يقوم بوظيفة «السالب» والآخر بوظيفة الموجب. وامكن تحقيق الاستنساخ بفك التلاليف حين أصبح كل وهين مفرد مرسومة (template) للوهين المتام الجديد (أنظر الشكل ٨/٢).

وخلال ثمانية عشر شهرا كان واطسون وكريك قد شيدا نموذجا للدنا مطابقا للبيانات الفيزيائية أظهر ليس فقط الشكل الثلاثي الابعاد للدنا وانما ايضا الطريقة التي تناسخت الجزيئة بها. وبما ان نتائجهما نشرت للمرة الاولى في عام ١٩٥٣[٨] فقد تراكم قدر كبير من الشواهد يؤيد بنيتهما المقترحة ، لتبرز الاعجب من بينها طريقة آرثر كورنبرج[٩] Arther Kornberg لتشكيل جزيئة دنا نشطة بيولوجيا في أنبوبة اختبار.

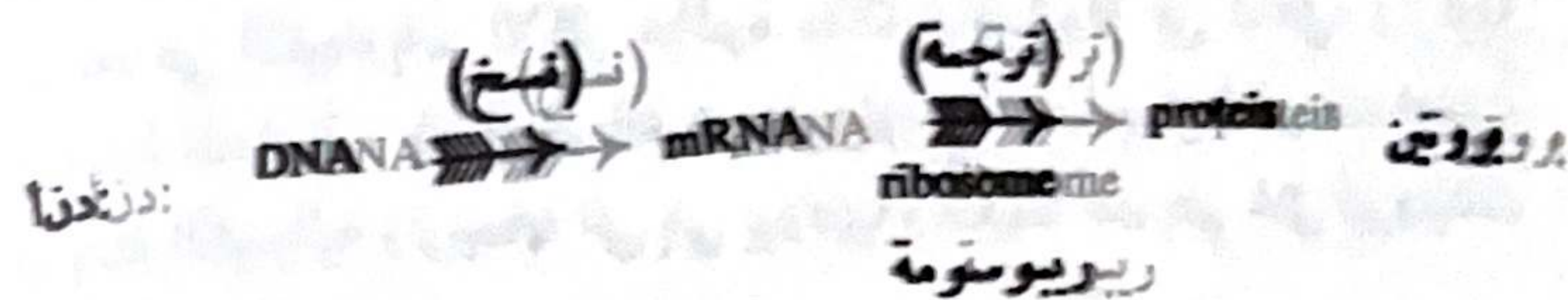
الفصل التاسع – من المطبوعة الى المتعضية

انطلقت تجربة ميلر الافتعالية للاحوال الجوية على الارض البدائية البحوث حول كيفية ابتداء الحياة ، وذلك بايضاح الطريقة التي تكونت بها اللبنات البنائية قبل ظهور الخلايا الاولى . ومن بين هذه اللبنات البنائية هي النووتيدات (nucleotides) التي تلتئم ببعضها لتشكل حوامض النوويك (nucleic acids)، وحامض النوويك (دنأ DNA) هو الأساس الجزيئي لقدرة الحياة على التكاثر . لكن الدنأ ليس سوى جزيئة معلوماتية كما هي الحال بالنسبة الى شريط الكومبيوتر ، والبروتينات ، بتنويعتها وأدوارها الهائلة، هي الكيماويات الاكثر مباشرة مطلقا والمسؤولة عن شكل، وتركيبة ووظيفية المتعضية . يتم انجاز الفرض البيولوجي للدنأ بنقل المعلومات المدونة في بنيته الكيميائية وترجمتها الى بنى بروتينية. فكيف اذن يتم خلق البروتينات من بنية الدنأ؟

يوجد نوعان من حوامض النوويك هما الدنأ والرنأ. والدنأ هو الجزيئة التي تعمل كمستودع للمعلومات الوراثية ويتواجد في نواة الخلية . أما الرنأ، من جهة أخرى، فيتواجد في كل من النواة والسيتوبلازمة معا. يحصل تمثيل البروتين في السيتوبلازمة . وحتى في السنوات الأربعينية من هذا القرن، ابان كان لا يزال يجهل ان الدنأ هو مادة الجينات ، دلت البحوث التي قام بها توربيون كاسبرسن[1] (Torbjorn Casperson) في ستوكهولم وجان براخت[2] (Jean Bracht) في بروكسيل على ان الرنأ يدخل بكيفية ما في تمثيل البروتين.

في عام ١٩٥٠ تمكن هنري برزوك وزملاؤه[3] (Henry Borzook) من معهد كاليفورنيا للتكنولوجيا ، وتوره هوتلين (Tore Hutlin) من معهد وينر–غرين

بيكتوكهولم، كل جانب على حدة وتستقل عن الآخر. من تشخيص الميكروسومات التي سميت لاحقاً بالريبوسومات (ribosomes) في السيتوبلازم كالموقع الذي يتم تمثيل البروتين فيه. لا يعمل الدنا مباشرة كموسومة (template) لتمثيل البروتين، انما بدلاً من ذلك تجري ترجمة سياق الدنا الى جزيئة رنا التي يجري نسخها من الدنا بنفس الطريقة التي يتم بها استنساخ الدنا. ونسخة الرنا من الدنا هي الرنا الرسول (messenger RNA=mRNA) التي تحمل المعلومات الوراثية في سياقها الى الريبوسومة لترجمتها الى سياق الحوامض الامينية من البولي ببتيد (polypeptides):



في اواسط الخمسينيات من هذا القرن ظن البيولوجيون ان الرنا الريبوسومية هي بالذات الموسومة (template) لتمثيل البروتين وتضمنت الفجوات او التقوبات التي كانت مشابهة لشكل الحوامض الامينية التي يتم منها تشييد البروتين. لكن لم يتمكن أحد من تشييد نموذج من الرنا مع التقوبات المعينة يمكن تصورها ان يعمل بمثابة موسومة. وكان فرنسيس كريك هو الذي ادرك ان الحوامض الامينية لا تجلس (fitin) مباشرة في جزيئة الموسومة وانما تحتاج الى جزيئة موضبة (adapter) نوعية للحامض الاميني الذي يميز الموقع المخصوص في الموسومة.

كان ماهلون هوغلاند (Mahlon Hoagland) من جامعة هارفارد قد اكتشف صنفاً من الرنا تعذر ترسيبه بعملية النبذ المركزي (centrifugation)

وظل ذائباً في المحلول، وبالنتيجة اطلق ماهلون على هذه اسم الرنا الذائبة. غير انه لم يمض وقت طويل قبل أن يدرك البيولوجيون أن رنا هوغلاند الذائبة كانت هي نفسها جزيئات كريك الموضبة، وخلال فترة قصيرة تم ايجاد رنا ذائبة نوعية لكل من الحوامض الامينية العشرين، وطبقاً لدورها الفعلي اصبحت تعرف باسم رنا الناقلة (transfer RNAs=tRNAs).

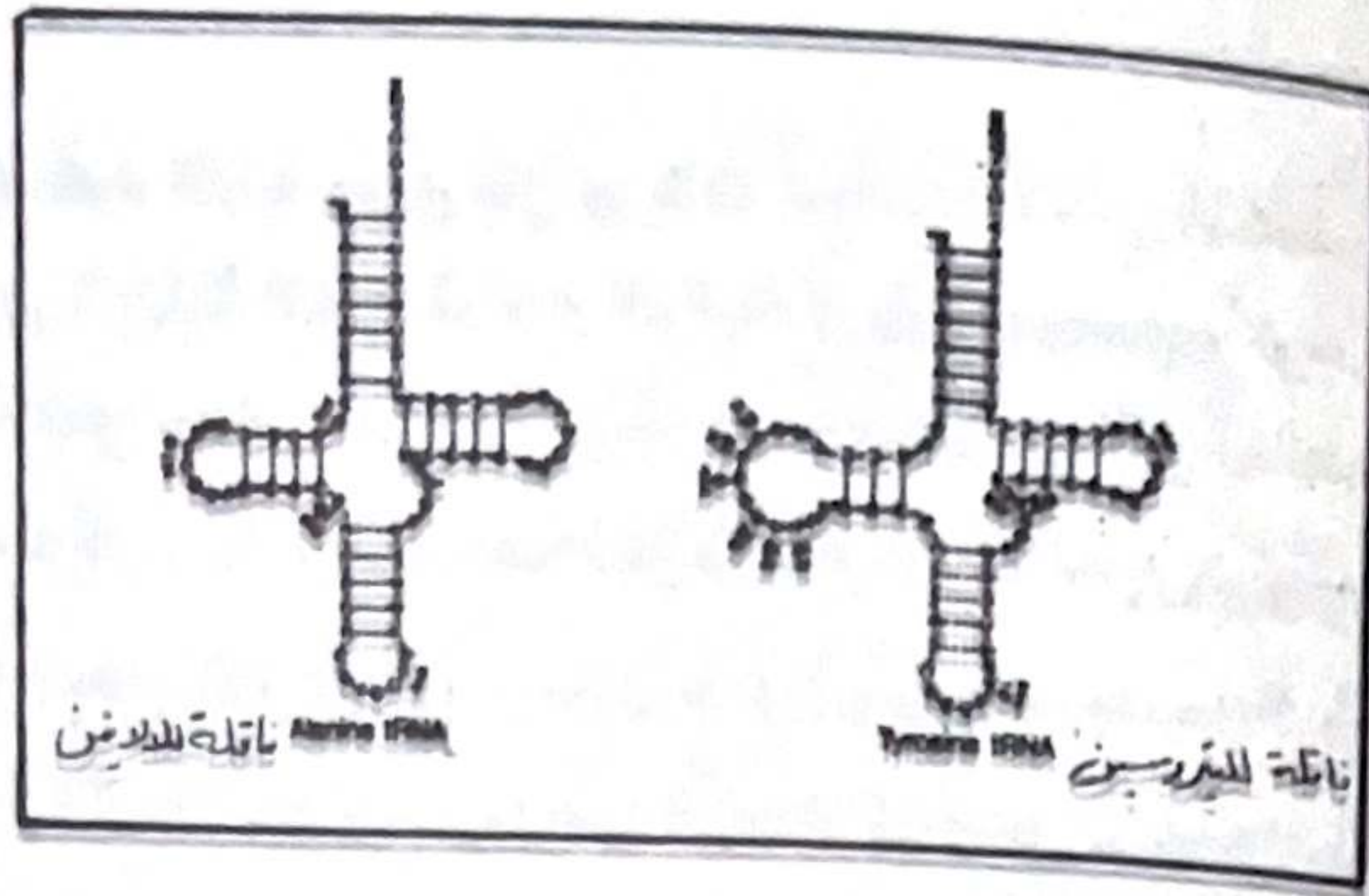
وعند تسليق او ترتيب سياق جزيئات الرنا الناقلة تبين ان جميعها تنتهي (CCA) في نهاية البولي نيوكليوتيد التي تحتوي على السكر مع مجموعة دايهدروكسيل (dydroxyl group) باقية على ٣-كاربون (3'- carbon)، وهي النهاية التي يرتبط بها الحامض الاميني. ايضاً لما كانت نسبة A/U و G/C تامة التساوي، فانه توجد امكانية ازدواج (pairing) قاعدي كبيرة بضمن الجزيئة. كما لاحظ روبرت هولي وزملاؤه(٤) (Robert Holley) بجامعة كورنيل ان الرنا الناقلة تحتوي على عدد من القواعد اللاعادية التي تختلف عن الادنين والغوانين والسايتوسين واليوراسيل باستبدالها بمجموعة واحدة أو اكثر من مجموعات مثيل (methyl groups) في مواضع مختلفة في بنياتها.

كان روبرت هولي وآخرون قد انجزوا تحليلاً تاماً لرنا ناقلة للالانين (alanine) في عام ١٩٤٥، وفي العام التالي أعلن ماديسون (Madison) وزملاؤه(٥) عن اكتشاف سياق النيوكليوتيد في رنا خميرية ناقلة للتايروسين tyrosine. (ملاحظة: alanine: حامض اميني طبيعي غير جوهري صيغته CH3 CH(NH2)COOH، بلوري شفاف يذوب في الماء ويستخدم في البحوث الكيميائية وفي دراسات تأيض الحوامض الامينية. tyrosine حامض اميني بلوري ابيض غير جوهري صيغته $C_9H_{11}NO_3$، يتكون من تفسخ البروتينات كما في انسان الجبنة). كانت البنيتان المقترحتان لهذين الرنا الناقلين هما

تفريسة ورقة البرسيم (clover-leaf configuration) ممسوكتان معا بروابط هيدروجينية مع قواعد (CCA) في موضع ثلاثي التكافؤ (3') وتنشزان بارزتين ، وقد تم منذ ذلك الحين التثبت من سياقات حوالي خمس وسبعين (٧٥) جزيئة رنأ، ويمكن تنظيمها جميعها في نفس طية ورقة البرسيم.

تتضمن الانشوطة الوسطية من ورقة البرسيم في النهاية المقابلة من (CCA) ثالوثا من القواعد اللامزدوجة التي تشكل كودونة مضادة (anticodon)

والكودونة codon = مجموعة صغيرة من الوحدات الكيميائية تتألف من سياق ثلاث نووتيدات تقوم بتدوين دمج حامض اميني معين في جزيئة بروتينية اثناء تمثيل البروتين). وهذه القواعد الثلاث هي متممة لثالوث القواعد في الرنأ الرسول (mRNA) التي تمثل كودونة (codon) ، أو كلمة واحدة من المعلومات الموجودة في الرنأ الرسول والتي تترجم الى حامض اميني واحد. تتراوح الرنأ الناقلة (tRNA) في عدد النووتيدات من (٧٤) و(٩١)، ولكن من بين جزيئات الرنأ الناقلة المختلفة تبدو المسافة الاجمالية من النهاية عند (CCA) الى الكودونة المضادة في النهاية الاخرى ثابتة ، ويتم تعويض الفارق في عدد النووتيدات بحجم الانشوطة الصغيرة الكائنة بين الطرفين (limbs) الايمن والاسفل ، كذلك، تقع القواعد اللاعادية في مناطق لا تشكل الاربطة الهيدروجينية ، وعلى نقيض الاشكال الاخرى من الحوامض النووية ، يتوجب على الرنأ الناقلة أن تتألف من بنية ثلاثية الابعاد نوعية للغاية ، وهي من هذه الوجهة في الواقع تشبه البروتينات.



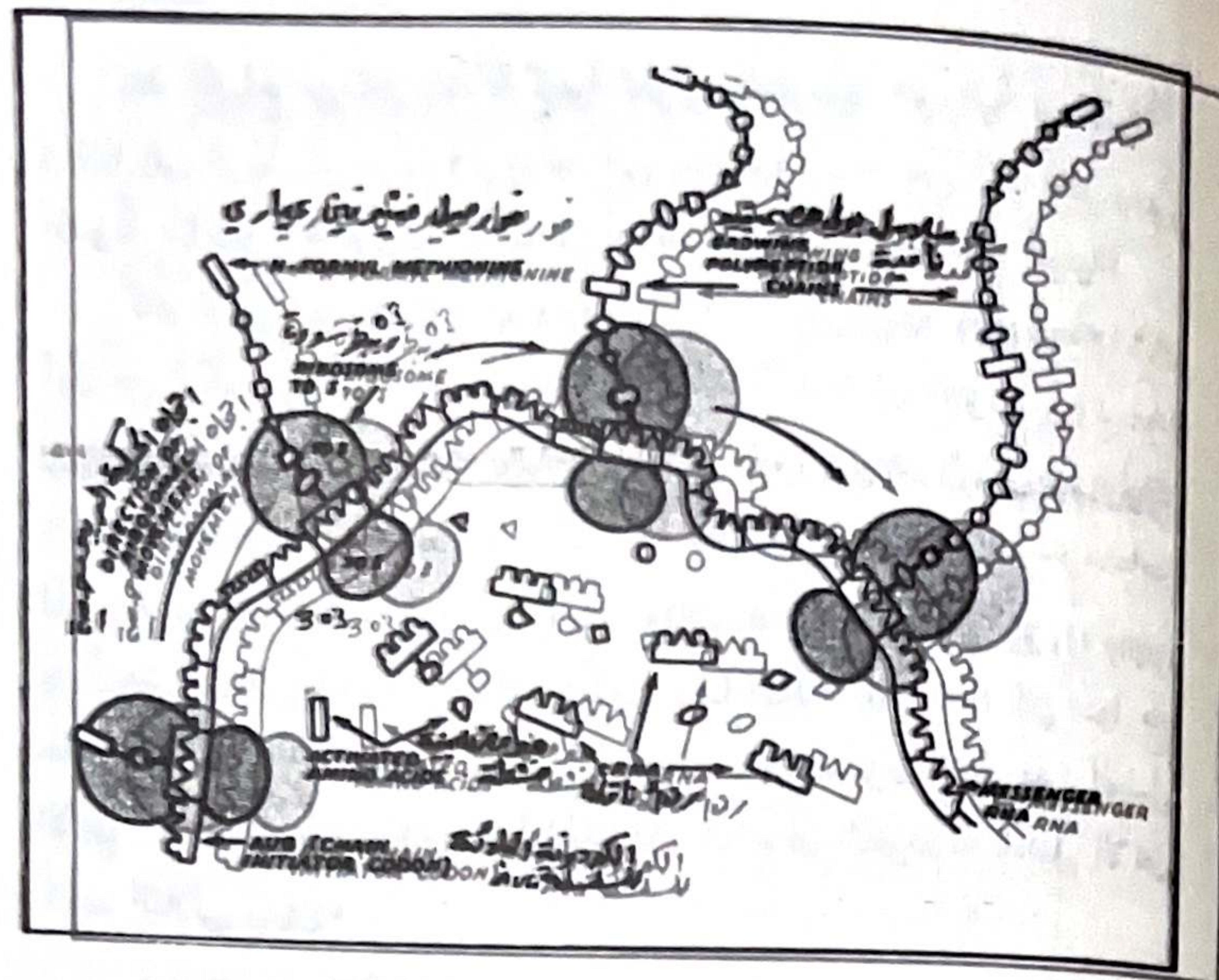
Alanine tRNA   Tyrosine tRNA

الشكل ١/٩ ـ البنية المقترحة للرنا الناقلة للالانين والرنا الناقلة للتيروسين.

يجري اعداد الحوامض الامينية للاستخدام في تمثيل البروتين بتنشيطها في تفاعل مع ثلاثي فوسفات الادنوسين (اتب) (adenosine triphosphate ATP) الذي يستلزم الانزيمة امينواسيتيل رنأسنثيتاز (aminoacetyl RNA synthetase) فيكون الناتج عقدة او تشبيكة (complex) منشطة من الحامض الاميني انزيم- امب (enzyme-AMP) الذي ترتبط فيه مجموعة خماسي الفوسفات (5'- phosphate) من الادنوسين الاحادي الفوسفات = (أمب) (AMP=adenosine monophosphate) كأنهدريد مختلط (mixed anhydride) بمجموعة الكربوكسيل (carboxyl) من الحامض الاميني، ويتم شطر البيروفوسفات (prophosphate) من الأتب (ATP) المنشط في العملية ، على هذا النحو:

وفي الخطوة التالية يجري نقل جزيئات الحامض الاميني المنشط بواسطة انزيم خاص آخر الى الرنا الناقلة النظيرة او الموافقة (corresponding). توجد رنا ناقلة خاصة لكل حامض اميني وانزيم نوعي (specific) لكل حامض اميني يجري ضمه الى الرنا الناقلة. بعد ذلك تنتقل عقدة الرنا الناقلة (t RNA complex) المنشطة للحامض الاميني الى الرايبوسومة (ribosome) - جسيمة كروية دقيقة تتألف من الرنا والبروتينات وموجودة بأعداد كبيرة في سيتوبلازمة الخلايا. ويتم تصنيع أو تمثيل البروتينات على السطح الرايبوسومي بعد نقل التعليمات التكوينية اليها من قبل الرنا الرسول(ل).

بعدما تتكون الرنا الرسول من الدنا وتنتقل الى السيتوبلازمة تقترن بها رايبوسومات تنضم اليها الكودونة البادئة للسلسلة (chain initiator codon) (AUG) التي على سبيل المثال تقوم بربط الرنا الناقلة فورميل ميثيونيل العارفة (N-formyl- methionyl-tRNA). تنتقل الرايبوسومة في سلسلة الرنا الرسول بقدر كودونة واحدة في المرة الواحدة متقبلة عقدة الرنا الناقلة المعينة المتوافقة مع الكودونة وموصلة الحامض الاميني بسلسلة الهضميد (peptide) النامية. تواصل سلسلة الهضميد نموها فيما تنتقل الرايبوسومة على امتداد الرنا الرسول، وبهذه الطريقة تتمكن رنا رسول مفردة واحدة من خدمة ست أو ثماني رايبوسومات بنفس الوقت. يوجد موقع نوعي واحد فقط في الرايبوسومة يمكن للرابط الهضميدي أن يتكون فيه، فانما تكون سلسلة بولي هضميد واحدة من كل رايبوسومة منتقلة على الرنا الرسول، ويتراوح معدل طول كل منها ما بين (١٢٥) الى (٤٠٠) حامض اميني.



الشكل ٢/٩ صورة ايضاحية للرايبوسومات منتقلة على الرنا الرسول وتقوم بتمثيل البولي هضميدات.

يقوم اتساق قواعد البيورين والبيريميدين في وحدة (strand) الرنا الرسول، المنسوخ بالاصل من الدنا النووي، بتوجيه ترتيبية الحوامض الامينية في عملية تمثيل البروتينات. وهذه المعلومات المحتواة في الرنا الرسول ليست في نيوكليوتيدات مفردة، وانما تكون في اتساقات من ثلاث نيوكليوتيدات أو ثالوث نيوكليوتيدي. وعليه فان المدونة التكوينية (genetic code) تتألف من ثالوثات (triplets) لا متداخلة تقع في سلسلة الرنا الرسول، ويكون كل ثالوث ليؤلف كلمة رمزية أو كودونة.

بعد الفراغ من حل مسألة كيفية تخزين المعلومات الوراثية في الدنا ، ونقلها الى الرنا الرسول، وترجمتها الى بنية بروتينية، بقي أمر فك رموز المدونة بذاتها، فأية نووتيدات تتناظر أو تتوافق مع أية حوامض امينية؟

كان نيرنبرغ(M.W. Nirenberg) وماثائيل[٧] (J.H. Mathael) في عام١٩٦١ أول من تمكن من فك رموز كودونة • فقد اكتشفا ان البولي نووتيدة الاصطناعية (synthetic) المتضمنة فقط لحامض اليوريديليك، البولي يوريديليك (uridylic, polyuridylic acid) يمكن أن تقوم مقام مرسومة للريبوسومات المعزولة من البكتيرة اي كولي (E. Coli) •وعند مزج البولي يو (poly U) بمستحضرات الريبوسوم واضافة جزيئات الرنا الناقلة بعد ذلك، كل منها مع حامضها الأميني النوعي، تم تمثيل بولي هضميتيدة احتوت فقط على الفنيل الانين (phenyl alanine) ومن هذا تمكنا الاستنتاج ان الكودونة للفنيل الانين كانت الثلاثي UUU•

وفي تجارب مماثلة قامت GUU بتوجيه عملية تمثيل البولي هضميتيدات المحتوية على الفالين (Valine) ، وكانت UGU الكلمة الرمز للسيستين (cysteine) •و UUG للوسين (leucine) • وفي الأخير، باستعمال كتل من البوليمرات المتوازية ، وهي بولي نووتيدات ذوات سياقات متكررة لقاعدتين او ثلاث قواعد، تم فك كل رموز المدونة التكوينية برمتها•

الرسالة الثانية SECOND LETTER

FIRST LETTER	U	C	A	G	THIRD LETTER
U	UUU } Phe UUC UUA } Leu UUG	UCU } Ser UCC UCA UCG	UAU } Tyr UAC UAA OCHRE UAG AMBER	UGU } Cys UGC UGA UMBER UGG Tryp	U C A G
C	CUU } Leu CUC CUA CUG	CCU } Pro CCC CCA CCG	CAU } His CAC CAA } GluN CAG	CGU } Arg CGC CGA CGG	U C A G
A	AUU } Ileu AUC AUA AUG Met	ACU } Thr ACC ACA ACG	AAU } AspN AAC AAA } Lys AAG	AGU } Ser AGC AGA } Arg AGG	U C A G
G	GUU } Val GUC GUA GUG	GCU } Ala GCC GCA GCG	GAU } Asp GAC GAA } Glu GAG	GGU } Gly GGC GGA GGG	U C A G

الرسالة الاولى FIRST LETTER — الرسالة الثالثة THIRD LETTER

الشكل ٣/٩ ـ المدونة التكوينية • Genetic Code هذه هي الكودونات a-UAA امغر ، UAG عنبر ، UGA اظلم، تستخدم AUG بمثابة الكودونة البادئة المتضمنة للسلاسل • وتمثل الفورميل مثيونين في بكتيرة اي كولي• E. coli• للسلسلة وفي الوسط سلسلة بروتين تمثل المثيونين•

وكنتيجة للدراسات العديدة الاضافية تبين ان الحوامض الامينية تحتوي ليس فقط على ثواليث مخصصة لها وانما وجدت فيها ايضا كودونات تتضمن تعليمات خاصة • وعندما اكتشف البيولوجيون أن جميع البروتينات التي تقوم بكتيرة اي كولي بتمثيلها تضم عياري ـ فورميل مثيونين بمثابة عيار ـ فضلة الحامض الاميني النهائية ادركوا ان AUG كانت الكودونة البادئة او المحركة (initiator) تبدأ جميع البولي هضميتيدات بعياري ـ فورميل مثيونين الذي

يمكن كتابته أو قراءته في وقت لاحق. تتضمن ثلاثة أحماض أمينية بين كودونات متوضعة لرمز كودونات وعشرة كودونات التي تستخدم. أما الكودونات الثلاثة UGA و UAG و UAA فوظيفتها إنهاء السلاسل، أي أنها تعني توقف ترسل الإشارة إلى الهضمية التي في تلك النقطة.

وعلى نقيض البروتينات، فإن أحماض النووية الجزيئات شديدة حقيقية، وهي مستقرة في الحوامض والقلويات اللطيفة أو المعتدلة، ويمكن تسخينها تقريباً حتى درجة الحرارة (١٠٠°) مئوية، وهي الحرارة التي تتحطم فيها البنى البروتينية الرقيقة الطرفية ولا تتحطم، ولما كان بالإمكان خلط البوليمرات الأخرى بعد بحوامض النووية بأفق نفسه الخاصية تجعل الحوامل عزل الدنا والرنا من المكونات الخلوية المختلفة، وخاصية أخرى أيضاً تجعل من السهل تنقية الدنا هي على نقيض البروتين إذ إنه لا يوجد نوع واحد فقط من الدنا في الخلية الواحدة.

كل من الدنا والبروتينات هي بوليمرات مبنية من وحدات فرعية تالية الأغراض مختلفة، تحتاج البروتينات إلى هياكل وأصناف مختلفة من الجزيئات الوظيفية لكي تتمكن من تحقيق النوعية (specificity) وإنجاز الأنشطة الكيميائية، والتحصيل على خطط متنوعة من الوحدات الفرعية، ووجدتها في الحوامض الأمينية البالغ عددها عشرون حوالي ذلك. أما الدنا من جهة أخرى فلم تحتج إلى أشكال عديدة، وإنما احتاجت فقط إلى تخزين المعلومات، ولتحقيق هذا الغرض توفرت لها الخيارات، فقد كان بوسعها أن تستخدم الياناً كبيرة (وحدات فرعية) أو عدداً من «الكلمات» كبيراً، أو كان بوسعها استعمال مجرد وضع رسائل تحمل الجزيئة المعلوماتية فيها لطول لغاية ما، وفي النهاية اختارت المنظومات البيولوجية دنا تتألف من مجرد أربع وحدات فرعية، واستخدمت كلمات ثلاثية الأحرف في معجم

بلغ عددها أربع وستون (٦٤) كلمة من عدد الكلمات فائض، وربما المسألة الحياة بدت وبدايتها تتقطر إذ إن في الأغلب يحتمل عدد الوحدات التي في جزيئات الدنا إلى آلاف الملايين في الواقع.

يمكن أن يجادل أن هذا هو كل ما احتاجت إليه الدنا؟ لا، بل أنواع عشرين حامضاً أمينياً فكن لكن يوجد العديد من الحوامض الأمينية الأخرى، غير هذه العشرين كان بالإمكان تشكيل تركيب تركيبات، ربما يقال إن الدنا مشتق من أوسع أنواع من النووتيدات بحث واقعية الغرض، وربما كانت الصنعة التي أثبتت جدارتها وتفوقها على التركيبات الأخرى الأكثر تعقيداً بكونها أكثر بساطة وأكثر استقراراً مع كونها متراصة ومحكمة، وربما لم تتواجد ثلاثة تجنى من استخدام أنواع أكثر من الحوامض الأمينية لما كانت عشرون منها كافية للغرض المنشود.

غير أن الجواب على هذا، ربما يعود إلى سبب آخر، فقد كان بوسع الخلية الناهضة أن تشيد بروتيناتها وحوامضها النووية من نخبة من الحوامض الأمينية والنووتيدات المتوفرة في البيئة البدائية، غير أنها ما إن ترسّت الخلايا بنظام بيولوجي مكين حتى أصبح متعذراً عليها استعمال المزيد من اللبنات البدائية، وربما أن الحوامض الأمينية والنووتيدات المختارة كانت الوحيدة المتوفرة في بيئة الأرض البدائية.

الفصل العاشر ـ خيط متواصل

ان جميع الكائنات الحية الموجودة على وجه الارض مشدودة بخيط نشوء تطوري لا مرئي يمتد متواصلا بلا انقطاع الى جذور بداية الحياة الأولى. وهذا الخيط هو جزيئة الدي ان أ الموجودة في كل خلية من خلايانا والتي تحمل المعلومات التكوينية لتشييد كياننا الحي بذاته ، لقد تواجدت هذه الجزيئة منذ لحظة اختلاق أول الخلايا الحية قبل أكثر من ثلاثة آلاف واربعمائة (٣٤٠٠) مليون سنة خلت، ومرت في اثنائها بتغييرات وتطويلات ، وظلت تتناسخ جيلا بعد جيل بلا انقطاع حتى يومنا هذا ، تبقت التغييرات القليلة التي وقعت في الجزيئة وتناقلت عبر الأجيال المتعاقبة ، وكل تغيير وقع في جزيئة الدنأ انعكس في تغيير في بروتينتها المترجمة عن بنيتها.

توجد انواع كثيرة من البروتينات في الخلية الوظيفية تقوم بأداء أو متابعة جوهرية جميع التفاعلات البيوكيميائية . فالبروتينات هي التي تسيطر وتتحكم في جميع العمليات التأيضية ومنبع او قالب (matrix) العظام والاقياض، ونقل المتفاعلات او العوامل التفاعلية (reactants) ، وتمثيل او تصنيع المقومات ، وحتى في اشكال جميع المنظومات البيولوجية وخواصها الآلية أو الميكانيكية ، وكل بروتينة مكيفة بدقة بنيتها الكيميائية لأداء دورها النوعي، وبنيتها الكيميائية بدورها هي التعبير المباشر لترتيبة الحوامض الامينية المختلفة الموجودة في سلسلتها، وعليه فان أي تغيير يحصل في تركيبة الحوامض الامينية في البروتينة يكون له في معظم الأحيان اثر بالغ على كل الخلية أو المتعضية برمتها، مع ذلك، فهذا هو أساس التطور ، وبدونه لا يمكن للحياة أن تنشأ وتنمو مطلقا.

ان قابلية الجهاز (genetic apparatus) للتبدلات الكبرى (mutability)

هي التي تؤدي الى حصول التغير في البروتينات . وتؤلف الجينة قطعة او شدفة (segment) من جزيئة الدنا وتحمل الرسالة المرموزة لتمثيل بولي هضيدية واحدة ، وهي بولي هضيدية ربما تكون هي بذاتها بروتينة ، أو ربما تتآلف أو تتحد مع بولي هضيديات أخرى لتشكل بروتينة . وعليه فاذا تغيرت نووتيدة بفعل التبدل الفجائي (mutation) في باطن الجينة يؤدي ذلك الى احداث تغير في احدى الرسائل المرموزة فتجري قراءتها لحامض اميني مختلف يفضي بدوره الى حصول استبدال في السلسلة الهضيدية اثناء تمثيل البروتينة . تنجم التبدلات الكبرى أو الفجائية في العموم عن انخفاض المستوى الخلفي للاشعاعية الطبيعية ، الا انها يمكن ايضا أن تتسبب عن فعل بعض الكيماويات .

هذا هو التبدل الكبير على ابسط المستويات وعلى نطاق بولي هضيديات مفردة . ويمكن عزو تنوع وتعدد الاصناف والانواع التكوينية (genotypes) الى اختلاف القسومات الاليلية (allele combinations) . والاليل allele لأي من زوجين من الجينات يقعان في نفس الموضع من كلا زوج من الصبغوسومات وظيفته نقل الخلايا أو الخصائص المتوارثة ، أو التبادل الصبغوسومي ، أو الانقلاب (inversion) ، أو تغيير ترتيب القسومة (recombination) ، أو تعدد جموع الصبغوسومات (polyploidy) . وبالنتيجة ، ما عدا في حالات التوأمين (twins) لا يوجد بين الانواع المتقدمة فردان متطابقا السمات تماما . وهذه التعقيدية في التكاثر جاءت بمجموعة أو طقم جديد (new set) من التبدلات الكبرى حصلت عن الاخطاء التي تقع في الطريقة المتبعة ويعير خبراء النشوء الجزيئي (Molecular Evolutionists) اهتماما كبيرا لمثل هذه التبدلات في جزيئة الدنا المفضية الى استبدال حامض اميني واحد في البروتينة المفردة . وهذا كيميائيا اكثر بساطة ويمكن دراسته تحليليا ورياضيا .

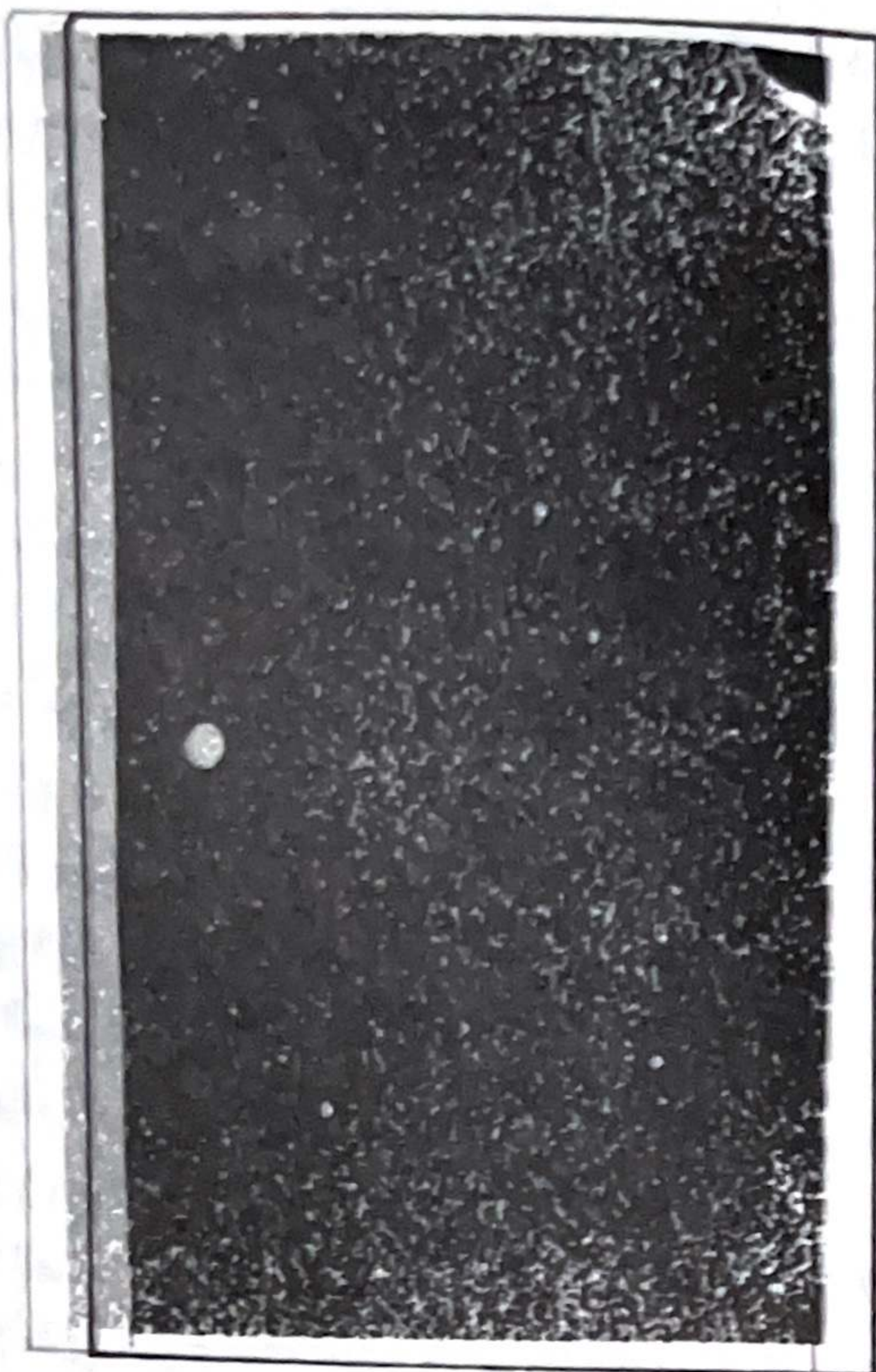


Figure 10.1. A molecule of linear double-stranded DNA. The bar represents 1,000 nm; magnification is 20,000 X.

الشكل ١٠/١ - جزيئة من الدنا المزدوج الوصل الخطي . والخط يمثل الف (١٠٠٠) نانومتر والصورة مكبرة عشرين (٢٠) الف مرة .

ان وتيرة وقوع التبدل الطفري، كعمليـة التفكك الاشعاعي، تشكل عاملا احصائيا ثابـت الاستمراريـة الى درجـة بـاهرة . وتدل تقـديرات أي‌تسوكركاندل (E. Zuckerkandl) وايل بولينغ[1] (L. Pauling) على ان كل حامض اميني في الهيموغلوبين يتعرض للاستبدال بالتبدل التكويني بمعدل وتيرة مرة واحدة كل ثمانمائة (٨٠٠) مليون سنـة ، ولما كان الهيموغلوبين يحتوي على مائة واربعين (١٤٠) حامضا امينيا، فان هذا الاستبدال يقع في الجزيئة بمعدل (٥،٠٧) مليون سنة، (أي كل خمسة ملايين وسبعين الف سنة).

كما أيد موتو كيمورا[2] (Motoo Kimura) ثبـات دوامية هذه الوتيرة للاستبدال باجراء مقارنة بين عدد استبدالات الحوامض الامينية التي وقعت في السلاسل الهيموغلوبينية في الانسان وفي سمكة الكارب يتألف الهيموغلوبين من سياقين من البولي هضميتيدات تسمى بسلاسل الفا وبيتا (alpha and beta chains) نشأت من الهيموغلوبين العتيق ذي السلسلة الواحدة فقط . فالانسان وسمكة الكارب بهيموغلوبينهما الثنائي السلسلة منحدران من جد واحد مشترك ذي غلوبين (globin = الجزء أو العنصر البروتيني في الهيموغلـوبين) بدائي عاش اثناء الحقبة الديفونية بين ما قبل ثلاثمائة وخمسين (٣٥٠) مليون سنة واربعمائة (٤٠٠) مليون سنة خلت، ويعتبر ان التفرع الى سلالات نشوئيـة منفصلة وقع قبل حوالي ثلاثمائة وخمسة وسبعين (٣٧٥) مليون سنة . وقد وجد كيمورا في مقارنة سلسلتي الالفا والبيتا للهيموغلـوبين البشري اللتين تأتيان من جينات منفصلة انهما تختلفان في مجموع عدد استبدالات الحوامض الامينية بقدر (٧٥). وعندما قارن عدد الاستبدالات في سلسلة بيتا البشرية مع تلك في سلسلة الفا الكاربية وجد ان الفارق يبلغ (٧٧) جوهريا مماثلا. وبعبارة أخرى، بعد انفصال الانسان وسمكة الكارب من جـد واحد قبـل

ثلاثمائة وخمسة وسبعين (٣٧٥) مليون سنة تعرض كلاهما جوهريا الى نفس عدد التبدلات الطفرية في سلسلة الالفا من هيموغلوبينهما.

تضم انواع مختلفة العديد من نفس البروتينات مشتركة بينهـا تقوم باداء نفس الوظيفة ، ولكنها قليلا من نوع الى نوع في تركيـبة الحوامض الامينية . تسمى هذه البروتينات بالمتماثلة (homologs)، ويزداد تشابه تركيب البروتينات المتماثلة بازدياد تقارب أنساب الانواع. وفي عام ١٩٦١ اقترح فرنون انغرام[3] (Vernon Ingram) من معهد ماشوسيتس للتكنولوجيا امكانية استخدام وتيرة الاستبدال (substitution rate) في هذه البروتينات المتمـاثلة كساعة للنشوء التطوري الجزيئي.

تظهر درجة التشعب التباعدي (divergence) في تركيبة بروتينات الدم في الحيوانات المختلفـة على الاخص في دراسـات مصل الدم (blood serum)* اذ عند حقن الدم البشري في ارنب ينتج تجاوب الارنب المنيع أجساما مضادة (antibodies) للبروتينات البشرية . وعنـد خلط هذا المصل الضـد بشري (antihuman serum) بدوره مع الدم البشري، يحصل تكتـل (clumping) بنسبة مائة بالمائة (١٠٠٪) في بروتين الدم. كما ان خلط نفس المصل الضد بشري مع دم انواع أخرى يعطي نسب الترسب التالية : في الغوريلا ٦٤٪، في الانغوتاز ٤٢٪، في قرد البابون ٢٩٪، في الثور ١٠٪، في الغزال ٧٪، في الخيل ٢٪، في الكنغارو ٠٪، وهذه مقايسة دقيقة جدا للتشابه والانتساب الكيميائي، ويتناظر ترتيب النسبة فيها مع الشواهد المستحصلة من التشريح المقارن والامبريولوجيا (علم الاجنة) المقارنة والاحـاثة او الباثالولوجيـا المقارنة.

ويمكن لدارسي النشوء الجزيئي الآن اجراء مقارنة مباشرة لهذا التشعب

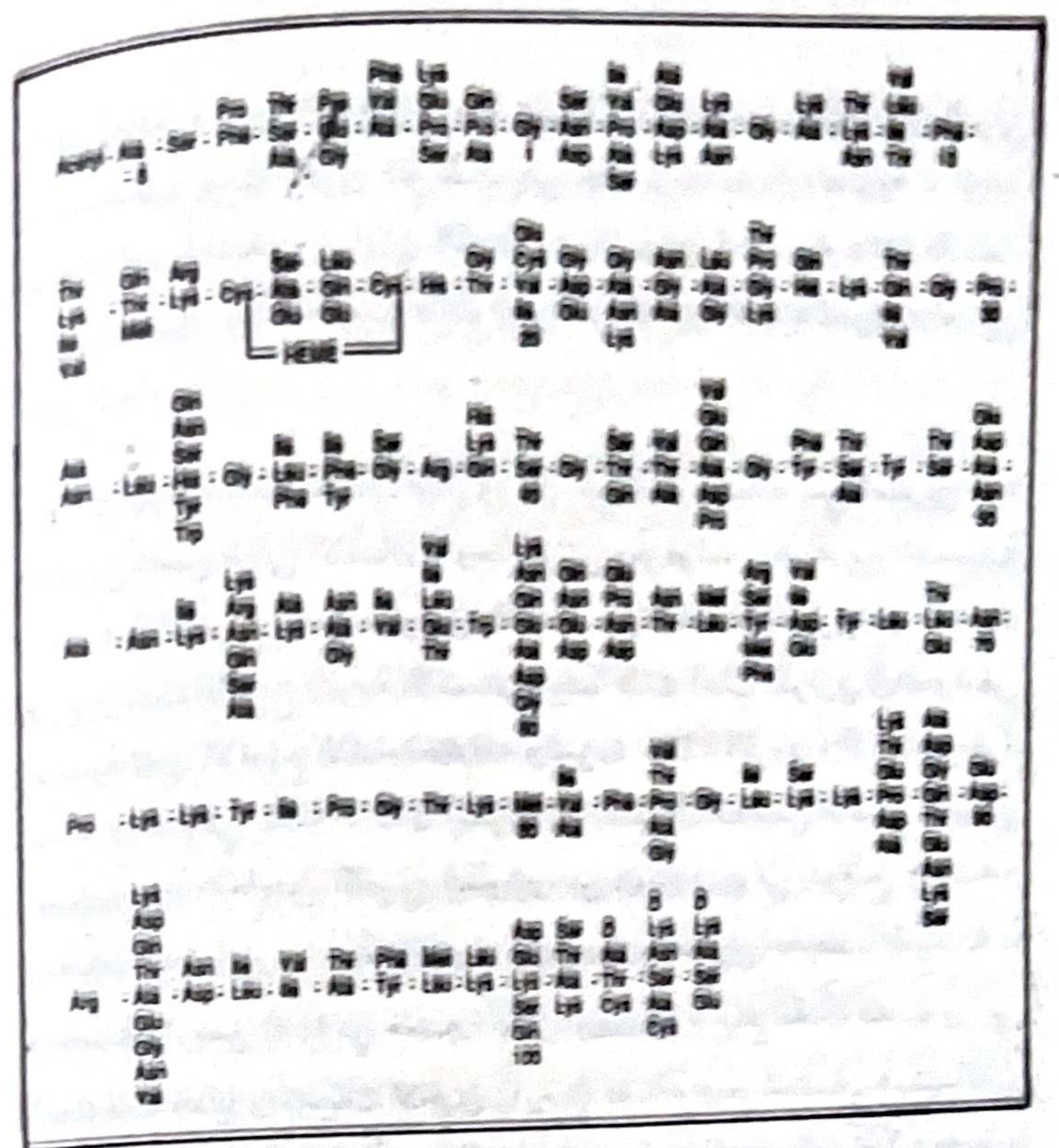
التابعي لتركيب الحوامض الامينية في البروتينات المتماثلة. وقد قامت مرغريت دايهوف وزملاؤها (Margaret Dalhoff) بنشر السياقات المرموقة للبروتينات سنويا منذ عام ١٩٦٥ من المؤسسة الوطنية للبحوث البيوطبية (biomedical) وذلك في أطلس سياقات وبنى البروتينات. وقد ازداد عدد السياقات من (٥٥) في عام ١٩٦٥ الى (٤٠٩) في عام ١٩٧٢[٤]. ويمكن بالسياقات المرموقة للبروتينات المتماثلة المأخوذة من عدد من الانواع اجراء مقارنة لتحديد مدى تعرض كل نوع لاستبدال الحوامض الامينية في البروتين بفعل التبدل الطفري.

كانت السيتوكرومة سي (cytochrome C) من بين أوائل البروتينات التي تمت دراستها من قبل عمانوئيل مارغولياش (Emanuel Margoliash) من مختبرات أبوت ووالتر فيتش (Walter M. Fitch) من مدرسة طب جامعة ويسكونسن[٥]. يمكن استخراج وتنقية بروتين هيم (heme protein) هذا بسهولة، وهو موجود في كل ميتوكوندريا الخلايا اليوكاريوتية، أي جميع الكائنات الحية ما فوق البكتيريا والطحالب الخضراء المزرقة، وعليه فانه يمثل تغيرا أو تطورا لصفة حيوية واضحة متواجدة منذ حوالي الف وثلاثمائة (١٣٠٠) مليون سنة خلت.

في الفقريات تتضمن السيتوكرومة سي (١٠٤) حوامض امينية، وأكثر من ذلك بقليل في غير الفقريات. ونظرا لشدة تطابق شكل هذه السيتوكرومة البنيوي بمقدرتها على اداء وظيفتها بالتفاعل مع اوكسيداز السيتوكروم وريدكتاز السيتوكروم (cytochrome oxidase-reductase) فقد أسفر ذلك عن الحفاظ على سطح البروتين. ان أي تبدل طفري يؤدي لاستبدال الحوامض الامينية فيه الى تغير شكل البروتين تغيرا كبيرا وبالنتيجة فانه يندثر ولا يبقى. وكنتيجة، يبقى خمسون بالمائة (٥٠٪) من الجزيئة بلا تغير، وضمن الحوامض

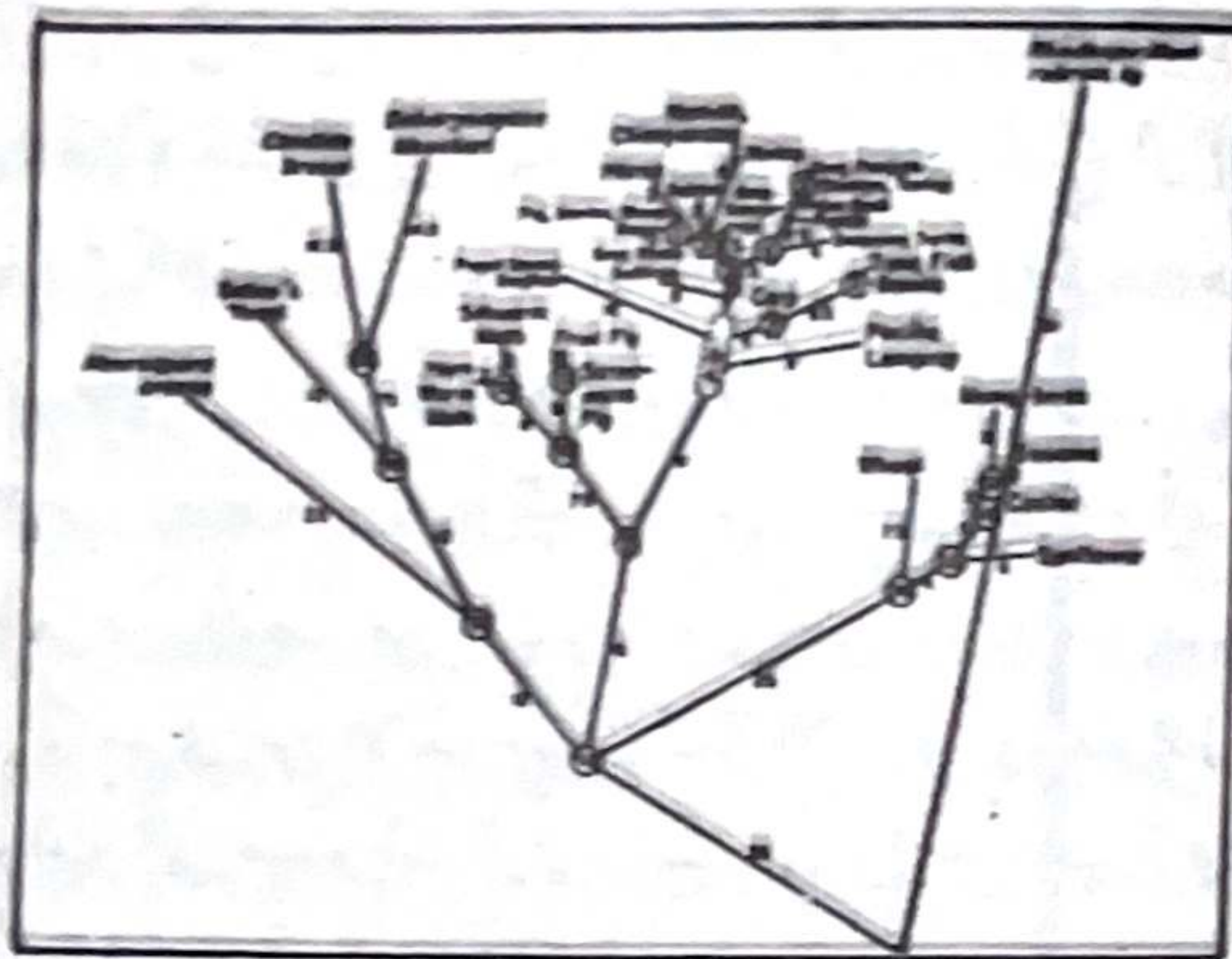
الامينية المتغيرة توجد تسعة عشر منها على الاخص تلعب دورا في تطابق البولي ببتيدات، وتسعة أخرى قد بقيت على حالها لأسباب غير معلومة. وتوجد ايضا ثوابت لصفة البروتين القاعدية والمتنافرة للماء أو اللاالفة للماء (hydrophobic)، كما ان بعض فئات الحوامض الامينية تبادلية تحوليا أو على نطاق كبير.

في دراسة ابعاد التبدل الطفري بين السيتوكرومات سي لعشرين نوعا تمتد من الخميرة الى الانسان، وجد فيتش ومرغولياش صلة بين النسبة التصنيفية للانواع وعدد الفوارق المنقلة، وتضاءلت الفوارق أو انعدمت في بروتينات الانواع القريبة الانتسابية بينما كانت أعظم الفوارق في الحوامض الامينية لدى الانواع الابعد انتسابا. وتميزت سلالة القرود والانسان بطفرة تبدلية واحدة في سلالة الانسان أسفرت عن استبدال الحامض الاميني ثريونين (threonine) بالحامض الاميني ايسولوسين (isoleucine) في موضع واحد. واختلف الحصان عن سمكة التونا (tuna fish) بعشرين حامضا امينيا، وبخمسة وأربعين (٤٥) في خميرة بيكر (Baker). ويبلغ معدل الفوارق بين الثدييات العليا والثدييات الاخرى (١٠,٦) نقلة. ومع احتساب استبدالات الحوامض الامينية الناتجة عن التبدل الطفري في تاريخ السيتوكرومة سي، تمكن فيتش ومرغولياش من تشييد شجرة التطور السلالي. ورغم ان الاستبدالات في السيتوكرومة سي ربما لم تنجم عن التبدل الطفري الاكثر مسؤولية عن أي تنحب تكاملي معين، فان تكونها يتوافق بشكل ملحوظ مع التطور التصنيفي للانواع.



الشكل ٢/١٠ - مؤلف لسياق الحوامض الامينية لسلاسل سيتوكرومة سي يوكاريوتية ، والسياق المتواصل البالغ ١١٢ فضلة هو لبروتين جرثومة القمح، وجميع السيتوكرومات سي الاخرى اقصر من ذلك، وحوامضها الامينية المختلفة مبينة فوق وتحت السياق الفعلي او الطولي.

تم برمجة سياقات الحوامض الامينية للبروتينات المتماثلة بالكومبيوتر لغرض استخراج الخصائص الثابتة (topology) لشجرة التطور السلالي، وهنا يبنى الاحتساب على افتراض ان عدد التغيرات الاقل حصل في المتضمنة الجد للسلالة ، بعد ذلك ينظر الكومبيوتر في أمر كل حامض اميني في سلسلة البولي هضميتيد ، واحدا فواحد ، مع حفظ الحوامض الامينية التي بقيت بلا تغير باعتبارها ثابتة لا تخضع للتغير، أما بالنسبة الى الاخرى فتشتمل الطريقة على صيغة رياضية (formula) لكل ضميمة ممكنة ليتسنى الاخذ في الحساب السياقات المحتملة للبنى السلالية ، وقد ورد وصف للطريقة بكل تفاصيلها في الفصل الثاني من اطلس سياقات وبنى البروتينات الصادر في عام ١٩٦٩ .



الشكل ٣/١٠ - شجرة النشوء والتطور السلالي مبنية على السيتوكروم سي. تشير الأرقام الى التغيرات المستنتجة للحوامض الامينية لكل مائة وصلة او رابط. عن: اطلس سياقات وبنى البروتينات، الصادر عام ١٩٧٢.

قام موتو كيمورا وتوموكو أوهتا (Tomoko Ohta)(٦) بطرح بعض المبادئ الخاصة بالنشوء الجزيئي وفي تقدير استبدال الحوامض الأمينية بثابتة تقريباً إذ لم يمس التغير بالوظيفة أو البنية الثالثية للبروتين، وعليه فإن أجزاء البروتين الأقل أهمية وظيفياً هي التي تتعرض للتغيير الأسرع، وعندما تنشأ جينة ذات وظيفة جديدة بسبب استنساخ جيني، وبهذه الطريقة تستقل المتضمنة نسخة واحدة لمراكمة التبدلات الطفرية لتظهر في الأخير كجينة جديدة بينما تحتفظ النسخة الأخرى بالوظيفة القديمة اللازمة للبقاء.

كشفت دراسة لغلوبينات الدم (globin = الجزء البروتيني من الهيموغلوبين) عن حصول تشعب في الأنواع توافق مع تناسخ المواد الجينية خلال الألف مليون سنة الأخيرة، وبينت هذه الدراسة أيضاً أن السلاسل الهيموغلوبينية الألفا والبيتا والمتكونة حالياً من جينات مختلفة تقع في كروموسومات مختلفة، كانت بالأصل قد انشقت عن جينة سلالية واحدة بفعل تناسخ أو تضاعف حقيقي في البنية الجينية، كما أن هيموغلوبين سمك اللامبري (lamprey)، وهو سمك بدائي لا يزال يحتفظ بسلسلة واحدة، وكذلك الميوغلوبين (mioglobin) وهو بروتين هيمي (heme protein) ينتسب إلى السابق ويوجد في العضل، قد نتج على ما يظهر من تشعب من الهيموغلوبين بفعل تضاعف عتيق حصل في العصر ما قبل الكمبري من الألف مليون سنة الأخيرة، وبهذه الطريقة وفيما تقدمت المتعضيات إلى مستويات أرقى، اتسعت موادها الجينية والبروتينات ذات الصلة بها وتزايدت في العدد والتعقيد.

تحتوي الجينة الواحدة في المعدل ألف (١٠٠٠) نويوتيدة، وفي الإنسان يبلغ مجموع عدد النويتيدات المكونة لجنومة واحدة (geneome = طقم الكروموسومات مع جميع جيناتها) زهاء الأربعة آلاف (٤٠٠٠) مليون، وهذا العدد ثابت بالتقريب في جميع اللبونات، وفي دراسة لسبعة بروتينات، وجد جاك

كنج (Jack King) وتوماس جوكس (Thomas Jukes)(٧) في التاريخ التطوري للتدييات أن عدد استبدالات الحوامض الأمينية يبلغ في المعدل اثنين إلى اثنين ونصف (٢-٢,٥) بالسنة في النوع الواحد. فإذا كان معدل زمن الجيل في السلالة المؤدية إلى الإنسان يقدر بعشرين سنة فإنه كان قد حصل عشرون استبدالاً في كل جيل وهو شيء يفوق العادة بالنسبة إلى نوع معين، ويسفر عن فقدان المتغايرات قبل توفر الوقت اللازم للانتقاء الطبيعي لاستمداد الفوائد الكاملة التي قد يوفرها تواجدها. ولهذا السبب كانت أغلب التغيرات في البروتينات حيادية أو تقريباً حيادية في الانتقاء الطبيعي.

تتوقف وتيرة نشوء البروتينات المختلفة على عدد الحوامض الأمينية اللازمة ليتسنى للبروتين ليكون وظيفياً. ولقد اختار راسل دوليتل (Russell Doolittle) وبرغر بلومباك (Birger Blomback)(٨) الفيبرينو ببتيدات (fibrinopeptides = الليفينو هضمييدات: fibrin = ليفين وهو بروتين لا يقبل الذوبان يتكون من الفبرنوجين fibrinogen وهو بروتين في المصل الحيوي للدم plasma يتحول إلى الليفين بفعل الانزيمة ثرومبين thrombin في تجلط الدم) لدراسة وتيرة (rate) النشوء الجزيئي، وعلى نقيض الهيموغلوبين والسيتوكروم سي، لا تحتاج الليفينو هضمييدات إلى حفظ أية حوامض أمينية معينة للقيام بدورها البيولوجي، وتتألف من عدة هضمييدية طول الواحدة منها ما بين ثلاثة عشر إلى واحد وعشرين (١٣-٢١) حامضاً أمينياً يتم قطعها من الليفينوجين (fibrinogen) عند تحوله إلى ليفين في الجلطة الدموية. وبما أنه يمكن أن تتألف الليفينو هضمييدات من أي حامض أميني يتفق فإنها ملائمة للغاية لدراسة الوتيرة اللامحدودة للتبدل الطفري.

في الأساس يقتصر تطبيق الليفينو هضمييدات على الثدييات لكن

المعلومات المأخوذة منها تشكل اسهاما رائعا في معرفة النشوء شبه البشري (humanoid emolution) • يملك جميع البشر وقرود الشمبانزي والغوريلا نفس الليفينوهضميتيدات بالذات، بينما توجد فوارق في ليفينوهضميتيدات ازواج قريبة النسب من الانواع الاخرى كالقط ـ الاسد ، والكلب ـ الثعلب، والحمار ـ الحصان، والجاموس المائي ـ الجاموس الرأسي• وفي دراسة النشوء الجزيئي (molecular evolution) لستة انواع من اشباه البشر بمقارنة ليفينوهضميتيداتها اكتشف دوليتل والعاملون معه[٩] أنه بالرغم من تطابق الغوريلا مع الانسان والشمبانزي فأنه يختلف عن القرود اللاذنبية الاسيوية (Asian Apes) والسيامنج Siamang وهو قرد من فصيلة الغبون gibbon خفيف الحركة يتواجد في الملايو)• ويبدو ان هذه الشواهد الكيميائية على نسبية الانسان الى القرود اللاذيلية الافريقية (African Apes) تؤيد اطروحة لكي (Leakey) أن أجداد سلالتنا الأوائل عاشوا في افريقيا• يميل الخبراء الأحائيون الباليونتولوجيون الى تحديد زمن ظهور الانسان الى الوجود كنوع متميز منفصل عن الانواع العليا الأخرى في ما قبل اربعة عشر (١٤) مليون سنة خلت• الا ان خبراء النشوء الجزيئي[١٠] من جهة أخرى ، يعتقدون ان الانسان والقرود اللاذيلية الافريقية تشعبت وظهرت الى الوجود قبل فقط اربعة الى خمسة (٤ ـ ٥) ملايين سنة لا غير[١١]• لكن، سواء ضر هذا أم نفع، فانه لابد من القول ان التحليلات والمقارنات الكيميائية أقل تأثرا بالرأي الشخصي من التصنيفات النظرية • وعليه فاننا نعلم ان النسبية الجزيئية بين الانسان والانواع العليا الاخرى أقرب بكثير من الاعتقاد السائد في العموم ، وبالفعل أقرب مما هي الحال بين افراد بعض الانواع الأخرى المعترف بها• فمن خمسين بروتينا (٥٠) بروتيناً مختلفاً عزلت من الانسان والشمبانزي وجدان الفارق سياقات الحوامض الامينية يقع في أقل من واحد بالمائة (١٪)•

يوجد شكلان من التنظيم الصبغوسومي، هما الصبغوسومة المفردة في البكتيريا والطحالب الخضرزرقاوية بمثابة دنأ مزدوج الوهن في انشوطة مغلقة ، وسلسلة الصبغوسومات الأشبه بالخرزة (beadlike) المتواجدة في المتعضيات الاعلى• يمكن أن تحصل التبدلات الطفرة بالخطأ بعدد من الطرق اثناء انتساخ الترتيبة الصبغوسومية ، لكن هذه الانزيمات الصبغوسومية تكون تقريبا دائما قتالة مميتة، ومن جهة أخرى يتوقف مفعول التبدل الطفرة في الجينات المفضي الى استبدال الحوامض الامينية يتوقف على البروتينات• فاذا كان الاستبدال عديم المفعول على وظيفة البروتين، فانه حيادي، لكنه اذا احدث تغييرا في شكل وقدرة البروتين فانه في هذه الحالة يكون ضارا بالمتعضية ولا يعيش معه التبدل الطفرة بسبب فقدان الفرد من نطاق التكاثر•

فالنوع الواحد يشكل مجمعا للتكاثر بين افراده ، وكل تبدل طفرة يعيش فيه يتسنى له الانتشار في جميع انحاء نطاق التكاثر، وتنشأ أنواع جديدة عندما تتراكم التبدلات الطفرة في جماعات معزولة تكاثريا ، وفيما تنتشر التغييرات الناجمة عن التبدل الطفرة وتسود بين الجماعة يصبح تكاثر هذه الجماعة مع مجموعات النوع السلالي غير معتاد في البداية ثم في النهاية يمسي مستحيلا•

بينما تشكل استبدالات الحوامض الامينية اللامتغيرة في البروتينات القائمة تبدلا طفرة لا يحتفظ به، تكون الوسيلة التي تحقق البروتينات الجديدة بها سياق حوامضها الامينية الأمثل وظيفيا • وفي المراحل الأولى من الحياة على الأرض لربما كانت البروتينات الابتدائية منخفضة المقدرة ولكنها ظلت تتحسن بأستمرار بأستبدال الحوامض الامينية الى أن بلغت أقصى كفاءتها، وآنذاك تشبثت بالسياق المسؤول عن وظيفتها تحافظ عليه بحرص شديد• انما بدون تبدل طفرة، كانت الحياة ستبقى على مستوى الخلايا البدائية الأولى التي ظهرت على الارض البدائية•

على ظهور بدايات الحياة على الأرض بمجموعة تفاعلات أساسية لتشكيل مكونات أو عناصر تكوينية (components)، ومن هناك انطلقت تخلق ذاتها بالتكاثر. ثم تم الحفظ على البروتينات الخاصة بهذه التفاعلات الجوهرية، وبعد ثبات المتعضيات أخذت بتطوير التحسينات بإضافة تفاعلات جديدة الى القديمة وتهذيب مقدرة التحولات البيوكيميائية (biochemical conversions).

وبسبب هذه الطريقة المحافظة التي تخطى بها النشوء في مسيرته، فإننا جميعا نملك في يومنا هذا آثارا من اجدادنا الاوائل وحتى من المتعضيات العتيقة المجهرية التي كانت تعيش في البحار الازلية، اذ الحياة لا تبدد ما قدر لها تكون عليه بقاء النوع واستمراره، بل تحتفظ بالقديم جنبا الى جنب مع تطورات جديدة. ولهذا السبب يمكن مشاهدة العديد من التفاعلات البيوكيميائية الاساسية المتوارثة أصلا من أجداد في غاية البعد الزمني في القدم دون أن تتغير كثيرا عبر ملايين السنين في الخارطة البيوكيميائية للنباتات والحيوانات المعاصرة.

والواحد من هذه الآثار القديمة من أصوات المتحجرة من البيئة اللاهوائية هو المسلك الأيضي (metabolic pathway) لعملية الغلكلة glycolysis على غرار حلمأة hydrolysis من مجمع اللغة العربية بالقاهرة، والغلكلة هي عملية تحليل السكاكر وغيرها من الكربوهيدرات بواسطة الانزيمات وتحويلها الى مركبات أبسط مثل حامض اللبنيك او البيروفيك والانتاج الوسيط الثلاثي فوسفات الادينوسين adenosine triphosphate (ATP) أ.ت.ب الذي هو أحد المصادر الرئيسية للأغذية، والأمر منذ البداية هو مؤانسة الكربوهيدرات، ففي عملية التخمر البسيطة يجري تحليل أو تجزئة الغلوكوز الى حامض البيروفيك، مفضي الى حصيلة قدرها (٢١٣) كيلوجول من الطاقة الكيميائية المولدة (Kilojoules per mole) من السكر وتقوم المتعضيات اللاهوائية المعاصرة

بانجاز هذه التحول (conversion) في عشرة (١٠) تفاعلات، ومنذ تطور هذه السلسلة الاساسية من التفاعلات قد قامت بعض المتعضيات بتمديدها الى إضافة حامض البيروفيك خطوة أبعد الى اللاكتات او الخليات والبروبيونات والخلات والايثانول والاسيتون وحامض البوتيريك واحماض دهنية أعلى (lactate, propionate, acetate, ethanol, acetone, butyric acid, and higher fatty acids)

وبالرغم من أن تفسيخ (decomposition) الكربوهيدرات الى حامض البيروفيك بالتخمر قد فاقته مسالك أيضية أكثر تطورا في جميع المتعضيات ما عدا اللاهوائية منها فاتها لا تزال باقية في بيوكيمياء النباتات والحيوانات الأعلى كتذكر من عصر كان فيه الوسيلة الوحيدة لاستخراج الطاقة الكيميائية لدى اجدادنا اللاهوائيين.

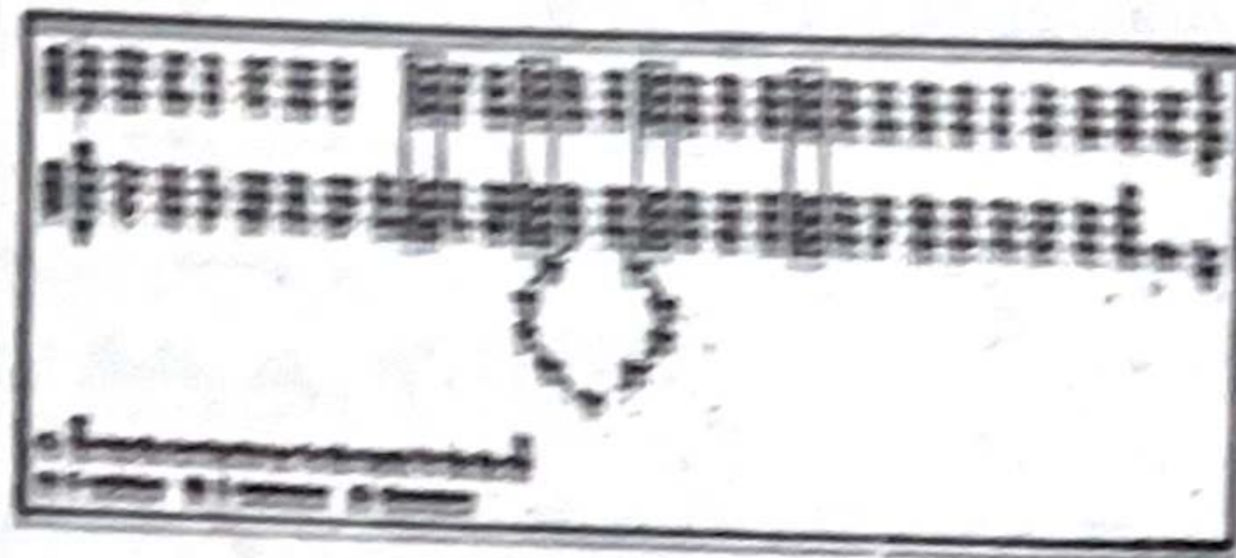
لكن تطور البنية البيوكيميائية ككل انما تشعب من بضعة تفاعلات اساسية ونتيجة هذا هو ان التفاعلات الاساسية لم تعد يمكن تغييرها، فالكثير جداً من البيوكيمياء الكلية للشعيبات ينبثق منها ويعتمد على منتوجاتها . فعلى سبيل المثال تمثل الخلات (acetate) في اجهزة نقل الطاقة ولكنها ايضاً مادة انطلاق جوهرية لمكونات مختلفة ومتنوعة من قبيل الكربوهيدرات والحوامض الامينية والدهنيات ، وحتى اذا امكن ايجاد مادة أخرى تعمل افضل من الخلات فانه سيكون من الخطر تبنيها بدون نتائج تدميرية كاسحة وذلك بسبب كثرة التفاعلات التي تحتاجها، فانه من شأن تغير واحد ان يتصاعد في هرم متضخم يؤدي الى تغيير الكثير من ايض الشعيبة.

ان الحفاظ على طرائق العمليات البيوكيميائية يفسر شدة توحد جميع الكائنات الحية في الخطوات الجوهرية الاساسية التي تجعل الحياة ممكنة . وهذا هو السر في كيف ان التحقق من سياقات الحوامض الامينية للعديد من البروتينات واستخدام اجهزة الكومبيوتر قد اتاحت للخبراء البيوكيميائيين تقصي وتتبع النشوء التطوري لنباتات وحيوانات اليوم على مستوى جزيئي. وبينما تقدر النسخة (complement) الجينية في التنميات المعاصرة بمائة (١٠٠) الف جينة فان عدد التفاعلات الايضية المشتركة بين الشعب (phylum)- جمع (phyla) المختلفة صغير للغاية ، ومن هذا يبدو ان جميع الحيوانات والانسان معا تنحدر من خلية بدائية سلالية كانت تملك فقط مائتي (٢٠٠) جينة[12].

تنحدر الجينة التي تنسخ السيتوكروم سي من تاريخ أول نشأة الخلية اليوكاريوتية ما قبل الف وثلاثمائة (١٣٠٠) مليون سنة خلت، لكن البروتين العام الشامل الذي ربما يمتد في القدم حتى أول بداية الحياة على الارض هو الفريدوكسين ، وهو بروتين حاو للحديد حيوي في التفاعلات الضوءكيميائية

(photochemical) لنقل الالكترون الى مخزن الطاقة الخلوية . للفريدوكسين قوة اختزالية تناهز ما للهيدروجين الجزيئي، وهذه الخاصية تجعله المركب المستقر الاشد اختزالية في الخلية وتوحي الى انه نشأ في زمن كان جو الارض به لا يزال شديد الاختزال.

جميع ادوار الفريدوكسين المختلفة في الخلية اساسية جوهرية ، فهو يساعد في تكوين الأتب ATP بالاشعاع[13] ويشارك في اختزال ثاني اوكسيد الكربون الى البيروفات (pyruvate) ، ويستخدم في تثبيت النيتروجين[14]، وعلى ما يظهر ان الفريدوكسين اكثر عتاقة من ثنائي نوويد ادين النيكوتيناميد (ناد: nicotinamide adenine dinucleotide: NAD) الذي عامل اختزال متواجد في جميع الخلايا . ويشارك الفريدوكسين مباشرة بمثابة مختزل لثاني اوكسيد الكربون مع الانزيمة المساعدة الاستيلية ا (Acetyl) بدلا من بواسطة(ناد NAD) في الميكروبة البدائية (acetyl coenzyme) كلوستريديوم باستوريانوم (clostridium pasteurianum) والبكتيرة الضوء تمثيلية كروماتيوم ثيوسلفاتوفيليوم (chromatium thiosulfatophilum) .



الشكل ١٠/٥ - مقارنة بين سياق الفريدوكسينات في ميكروبة كلوستريديوم وبكتيرة كروماتيوم

ان الفرادوكسين بروتين من الحديد ـ الكبريت يتضمن فقط خمسة وخمسين (٥٥) حامضاً امينياً ويتألف من نسبة عالية فوق العادة من الحوامض الامينية الاصغر والمستقرة دينامو حرارياً هي التلايسين والالانين وحامض الاسبرتيك والسيستين (glycine, alanine, aspartic acid, cysteine) ومن دراسة سياق الحوامض الامينية في الفرادوكسين استدل ريتشارد ايك (Richard Eck) ومرغريت دايهوف (Margaret Dayhoff)[١٦] ان البروتين يملك سياقاً متلالياً من (٢٦) وحدة وان الجزيئة الاصلية على سياق متكرر من الالانين والسيرين (serine) وحامض الاسبرتيك والتلايسين ، ويبدو ان الآلية (mechanism) الجينية الاصلية كانت سياقاً من اثني عشرة (١٢) نوكليدة تضاعفت ثم تضاعفت مرة ثانية وعملت سلسلة طويلة تكرارية . وفي وقت لاحق فيما اصبحت المدونة الجينية اكثر تعقيداً ، أضيفت اليها حوامض امينية أخرى بما فيها السيستين والتصق الرابط الكبريتيدي في السيستين بالحديد ، وأخيراً أضيفت اوضاع سيستينات بالتبدل الطفرة وتضامت سلسلتان متماثلتان في طريق الاطال (identical) لتسفر عن شبكة معقدة من البروتين ـ الحديد ـ الكبريتيد ذات قدرة مضافة عالية .

•

يقع الفرادوكسين في التمثيلات اللاهوائية البدائية الضوء تمثيلية واللاضوء تمثيلية ، وهو أساسي في كيمياء الخلايا ، وتوحي بساطة الفرادوكسين وتطوره التشوئي الى انه ربما كان واحداً من أقدم البروتينات الاولى التي كونتها الحياة على الارض[١٧] .

تستمد الحياة باستمرار من لحظة ظهور اول خلية حية على وجه الارض ، وتنحدر عبر الدهور والعصور بلا انقطاع ، الى جميع سلالاتها الحية ، وقد تناقلت المعلومات الجينية المدونة في خيوط نوويدات الدنا بتواصل مطرد من جيل الى جيل في تطور بطيء ، على الدوام متجزة مزيداً من القدرة ومكتسبة

جينات جديدة ، متوجهة دائماً وأبداً نحو اشكال أفضل وارقى من النباتات والحيوانات .

جميع سلالات الحياة المتواجدة اليوم لها نفس العمر جينياً أو تكوينياً ، ولكنها لم ترق جميعها على سلم التطور الى نفس المرتقيات . فهناك « الاحافير الحية » وهي نباتات وحيوانات لا تزال متواجدة بدون تحقيق أي تغير يذكر من اسلافها الاحفورية . وتجد الكوسلج اليوم قد بقي جوهرياً بنفس حالة دون تغير طوال الستين مليون سنة الماضية ، والسرطان الحدوي يتواجد اليوم تقريباً بنفس حالته بدون تغير منذ أكثر من مائة وثمانين مليون سنة . ولم تحقق الصراصير والعقارب والاقيسات الاورجل والنوتي أو النوتيلاس (nautilus) أي تقدم خلال عديد من مئات الملايين من السنين . كانت شجرة الجنك (ginkgo) مزدهرة في الصين في عصور الدينوصور ، الا انه في عام ١٩٥٨ اصطاد بعض صائدي السمك على مقربة من سواحل جنوب غرب أفريقيا سمكة غريبة في شباكهم لم يسبق لهم أن رأوا مثلها قط ، وكانوا على صواب في ظنهم ، فقد كانت السمكة من فصيلة سيلاكانث اللاحفورية (coelacanth) التي دونها الخبراء الباليونتولوجيون بين الاصناف التي انقرضت قبل مائة وخمسين مليون سنة .

تمتد الاحافير الحية الى حتى أعتق اشكال الحياة قبل خمسة عشر (١٥) عاماً قام سانفورد سيغل (Sanford Siegel) وهو خبير نباتي من جامعة هاوائي بزيارة عابرة الى قلعة هارليك بمقاطعة ويلز ببريطانيا حيث لاحظ ان السياح هناك يمارسون عادة قد ورثها الزمن متحدرة من أيام العصور الوسطى ، كان هؤلاء يحرضون على تقليد طريقة فرسان تلك الايام أو على الاقل طريقة الجنود القائمين بالحراسة أي أنهم كانوا يتحشدون حول جدران القلعة ويتبولون عليها . كان سيغل يعمل منذ عدة سنوات بدعم من الادارة الوطنية

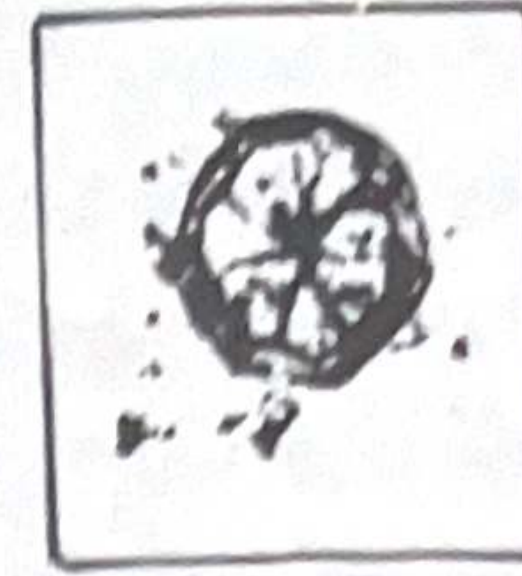
للفضاء وعلوم الأجواء الأمريكية (NASA) في تحري المتعضيات المجهرية المتواجدة في البيئات القاسية والتي يمكن ملاقاتها في الترحال الفضائي وبما ان الامونيا مكون رئيسي لجو المشتري (Jupiter) ، وربما كانت منتشرة في الأرض البدائية ، فقد جاءت تلك المنطقة ضمن البيئات التي شملتها دراسته، وذلك لأن التربة المشبعة بالبول تشكل حالة طبيعية عالية المحتوى من الامونيا.

عاد سيغل الى بلاده يحمل عينات من التربة جمعها من الارض المحيطة بالقلعة ، وحاول زرعها (culture) في هيدروكسيد الامونيوم المركز (ammonium hydroxide) ، كانت أغلب المتعضيات تموت أو تعوق الى حد كبير في ذلك الوسط، الا أن سيغل لاحظ واحدة تنمو في عناقيد مجهرية من اشكال نجمية ملتصقة بسيقان رهيفة ، لم تنطبق عليها اوصاف اية متعضية حية معروفة ، رغم انها تشابهت كثيرا بأحفورة مجهرية لما قبل الكمبري كان بارغورن قد اكتشفها في طبقات حجر الصوان الوري البالغة من العمر الفي (٢٠٠٠) مليون سنة الكائنة في كاكابيكا بمقاطعة اونتاريو بكندا ، وأطلق عليها اسم كاكابيكيا امبريلاتا[١٨] (Kakabekia Umbrilata) .

ظن سيغل انه قد وجد احفورة مجهرية حية تعيش على الامونيا ، ورغم انه كان قد جمع عيناته الاولى من قلعة هارليك فقد بينت الدراسات التي قام بها هو وزوجته بربارة[١٩] ان حاجة المتعضية الى الامونيا لم تكن مطلقة ، كما قد تم العثور على المتعضية في أتربة الاسكا وايسلندة ومناطق مختلفة من جبال الالب حيث البيئة عالية بالقلوية منخفضة بالامونيا ، لا تحتاج هذه المتعضية الى الاوكسجين ، لكن على نقيض أغلب البكتيريا اللاهوائية ، لا تموت بمفعوله. وأطلق على اكتشاف سيغل الذي ربما هو نسيب حي لأحفورة بارغورن من اواسط الدهر البروتيروزوي اسم كاكابكيا بارغورنيانا

(Kakabekia barghoorniana).

رغم ان السيانو بكتيريا واسعة الانتشار فربما انها قد بقيت جوهريا بنفس حالها منذ ما لا يقل عن الف (١٠٠٠) مليون سنة خلت. كما ان الميكروبات اللاهوائية التي سادت طوال الالفي (٢٠٠٠) مليون سنة الاولى من ظهور الحياة وقبل تواجد الاوكسجين الطليق في الجو بأية مقادير ملموسة قد تمكنت من البقاء معنا في نقر مستورة وتمثلها اليوم بكتيريا الكلوستريديا (clostridia) التي تعيش لتعدينا بالكزاز (tetanus) والتسمم الرصاصي (botulism) وغنغرين الغاز gas gangarene : تعفن الجرح بالغاز). وتعتبر الكلوستريديا ، التي تنقصها حتى السيتوكرومةسي، واحدة من اشكال الحياة الاكثر بدائية على الاطلاق . حتى البكتيريا الضوء تمثيلية ، وهي الميكروبات البدائية التي تملك القدرة على تمثيل المادة العضوية من ثاني اوكسيد الكربون في بيئة لا هوائية باستخدام كبريتيد الهيدروجين كمصدرها للهيدروجين وتحتاج فقط الى حامض الخليك والضوء وبعض الفلترات، قد واصلت البقاء حتى اليوم كواحدة من أقدم أشكال الحياة على الارض.



الشكل ١٠/٧ ــ بكتيرة كاكابكيا بارغونيانا من ويلز .

Figure 10.6. The gatehouse at Harlech Castle.
Figure 10.7. Kakabekia barehoorniana from Wales

ولكن رغم ان الأحافير الحية تبدو متجمدة في الزمن بينما تواصل النباتات والحيوانات الأخرى تطورها الدينامي، فان الأمر ليس كذلك في الحقيقة. اذ حتى جينات هذه البقايا العتيقة من الماضي السحيق قد مرت بالتبدلات الطفرية بنفس وتيرة جميع السلالات الحية الأخرى. انما لكي تحافظ على شكلية لا متغيرة يبدو أنها قد تعرضت لفعل متواصل من الانتقاء الطبيعي طوال المئات وحتى الآلاف من ملايين السنين فيما تدفق من خلالها سيل متواصل من التغيرات الجينية المحايدة تقريبا مستحالة (transform) جزيئاتها المعلوماتية الى حد كبير.

جميع المتعضيات الحية تحمل ضمن بنياتها البيوكيميائية آثار الأحداث التي أفضت الى تقدم الحياة طوال الثلاثة آلاف وخمسمائة (٣٥٠٠) مليون سنة الماضية. وعلى نقيض السجلات او الآثار الأحفورية التي تركت العديد من الفروع قد أصبحت دربا أو طريقا مسدودا ، ان البقايا الكيميائية الاثرية في جميع الكائنات الحية منحدرة من أجداد سلالية مباشرة . فاستخدام طريقة النشوء الجزيئي أسلوب ثمين للغاية ، وبواسطته يتمكن العلماء عقلانيا من حلم قديم طالما رنت اليه نفوسهم ، ألا وهو اكتشاف مسيرة نشأة الانواع حتى أول بداية الحياة بذاتها.

الفصل الحادي عشر ــ نوعان من الحياة

يوجد فرق هائل بين البروكاريوت واليوكاريوت من حيث التنظيم البنيوي والمطاوعية البنيوية . فمن جهة نجد أن البروكاريوت تضم عمليات تآيضية في غاية التنويع انما مع ذلك في الجوهر مجرد رزم من الكيميائيات تقوم ذات قطر بكتيري عشرة اضعافه في البروكاريوت وبحجم اكبر بألف (١٠٠٠) ضعف، وهي مبنية من وحدات خلوية فرعية مغلفة في أغشية دهنية تقوم بعمليات بيوكيميائية نوعية مستقلة نسبيا عن بقية الخلية . وفيما تتكاثر البكتيريا بمجرد استنساخ الدنأ المفرد الانشوطة فيها الذي يعوم في السيتوبلازمة ، وتنفصل بالانشطار فيحمل كل نصف منها ازيمات سيتوبلازمية لمواصلة أنشطته الخلوية ، فان اليوكاريوت تملك مادة جينية أكبر بألف (١٠٠٠) مرة موجودة في نواة مغلفة منفصلة عن السيتوبلازمة وتتكاثر بواسطة آلية الانقسام الفتيلي الدقيقة المعقدة.

بالنظر الى الطبيعة الاكثر بساطة للخلية البروكاريوتية فانه من المعقول الافتراض أن اليوكاريوت قد نشأت عن البروكاريوت، ألا ان النشوء لم يترك لنا أية آثار نهتدى بها في تتبع مراحله . كما توجد فجوة انتقالية بين هذا الصنف من الخلية وذاك، فهما مجردان أشبه بنوعين مختلفين من الحياة.

ولا يتجاوز هذه الفجوة في الاستمرارية بين اليوكاريوت والبروكاريوت الا الهوة التي تم ربطها وتوصيلها لغرض ابراز المتعضيات الحية الاولى الى الوجود . كانت هذه قفزة بيولوجية تعادل أو تفوق الطفرة الانتقالية من المتعضيات اليوكاريوتية الاحادية الخلية الى الحيوانات المتعددة الخلايا

والانسان، ووقعت في حين ما في الماضي السحيق، قبل تواجد النبات والحيوان بزمن طويل، اثناء ما كانت الارض تغير خواصها وتتخذ ملامحها المألوفة لدينا اليوم، فما الذي حدث في ذلك الزمن السابق الشاسع، قبل الحقب الكبيرة بردح طويل، في عالم الميكروب، وافضى الى انطلاق شكل جديد من الحياة الى الخلية اليوكاريوتية؟

حين مدد المجهر الالكتروني بصر العلماء البيولوجيين من تكبيرة بقدر الف (١٠٠٠) مرة الى أخرى قدرها مائة (١٠٠) الف، وضع في البؤرة التعقيدات التواشجية الكامنة في البنية الميكروبية. فبتكبيرة قدرها عشرة (١٠) آلاف مرة يمكن رؤية البكتيرة الكروية ستافيلوكوكاس (staphylococcus) تتحرك بسوط مروحي (propellerlike flagellum) وبتكبيرة قدرها ستة وعشرون (٢٦) الف ضعف تبدو قصبة السل الدجاجي (bacillus of chicken tuberculosis) كمودة كاملة النمو بدلا من لبنة دقيقة. أما بتكبيرة قدرها مائة (١٠٠) الف مرة فانه يمكن بالكاد تمييز الجزيئات العملاقة للخلايا لمجرد هيئات مغوشة لاشكلية (amorphous). فقد نقل المجهر الالكتروني ابصارنا عبر مراحل اصغر مستويات الحياة الى عتبة عالم الجزيئات الكيميائية.

تؤلف الخلية البكتيرية شكل الحياة الذي يوصل العالم البيولوجي بالرسالة التي تلوح بارزة من الصغر اللامحسوس للذرات ومخلوقاتها. فالبكتيريا العادية: وهي اشناف كروية تسمى بالكوكاس (coccus) البدائية، يبلغ طول قطرها حوالي اثنين (٢) ميكرومتر رغم ان القصيبات العودية الشكل (bacilli) يبلغ طول قطرها حتى عشرة (١٠) ميكرومتر. أما النوع الاصغر فهو الميكوبلازمة mycoplasma = جنس من المتعضيات المجهرية اصغر من البكتيريا واكبر من الفيروس) التي يبلغ طول قطرها (١٣٥ر٠) من الميكرومتر، لكن هذا الطول بدوره اكبر من قطر ذرة الهيدروجين بالف

وثلاثمائة وخمسين (١٣٥٠) مرة.

على ما يظهر ان البكتيريا هي أصغر المنظومات البيولوجية التي يمكن أن تعمل كوحدات مستقلة بذاتها، ودرجة صغرها صعبة التصور للغاية، وتوجد على جسم الانسان وفي باطنه أعداد من البكتيريا تفوق مجموع أعداد البشر على سطح الارض، ويمكن أن تتضمن ملعقة شاي من التربة آلاف الملايين منها بالحرف، وأربعون الفا منها جنبا الى جنب تمتد فقط بطول بوصة واحدة. لكن صغر البكتيريا، من جهة أخرى، يخفي فعاليتها، ذلك لأنها بالغة التعقيد للغاية في الدور الذي تلعبه في النطاق الحيوي من جو الارض biosphere = جو سطح الارض الذي تتواجد فيه الاحياء).

ويوجع نجاح البكتيريا الى عملياتها التأيضية المتنوعة للغاية. جميع المتعضيات الحية تملك انماطا تأيضية أساسية معينة مشتركة، لكن البكتيريا لا تضاهى في تنوع بيوكيميائها، وبوسع الانواع البكتيرية أن تستمد الطاقة بأكسدة مواد متضاربة مثل الامونيا والكبريت والحديد والنتريت (nitrites) بينما بوسع بعض البكتيريا تمثيل جميع متطلباتها الخلوية مثل جملة البروتينات بأكملها والكربوهيدرات والدهونات والحوامض النوويك، وذلك من املاح لا عضوية بسيطة والامونيا وثاني أوكسيد الكربون والماء.

لقد اتاحت هذه التطاوعية للبكتيريا أن تمتد وتنتشر في بيئات تعجز اشكال الحياة الأخرى عن بلوغها الى حد كبير. فقد وجدت البكتيريا تنمو في درجات حرارة تبلغ (٩٢–١٠٠°) مئوية في مياه الينابيع المغلية في نيوزيلندة وايسلندة، وفي المياه القطبية في درجات حرارة منخفضة حتى (١٢°) مئوية تحت الصفر. كما تعيش البكتيريا والطحالب في بحيرة الملح الكبرى وفي البحر الميت حيث تبلغ نسبة محتوى الملح (٢٩٪)، وتعيش ايضا في المستنقعات السبخة وفي الينابيع والبحيرات المتألفة من حوامض شديدة.

تنحصر البكتيريا في نطاق صغر حجمها بفعل الضغوط الانتقائية المنبثقة من مستوى حياتها. جميع المتعضيات تتناول الغذاء لغرض النمو وتقوم بفرز الفضلات الايضية ، وفي المستوى الميكروبي يتحتم أن تمر هذه المواد من خلال الغشاء الخلوي، ولما كانت العمليات الحياتية منحصرة في حجم محدود، فان وتيرة هذه التفاعلات تتوقف على مدى سرعة قدرة الخلية على امتصاص هذه المواد والتخلص من تلفها، بما ان نسبة السطح الى الحجم تتزايد كلما انتقص الحجم فان للصغر فوائد واضحة متميزة . تبلغ نسبة السطح الى الحجم لدى حوالي العشرين (٢٠)، بينما تتصاعد في البكتيريا الى تسعة (٩) ملايين، وهذا هو سر حيازة البكتيريا والخمائر والميكروبات على وتيرة تأيض هائلة . فيوسع خلية البكتيرة آي كولي (E. coli) عند وضعها في قمع خياطة من المرق الغذائي أن تتضاعف الف مرة في غضون ثلاث ساعات ، وبسكنها أن تطلق آلاف الملايين من الذرية خلال يوم واحد ، واذا أمكن ادامة الوتيرة فبوسعها أن تغطي الارض بأكملها في ظرف ثلاثين (٣٠) يوماه

أما في النهاية السفلى من مدى مقاسها فتنحصر البكتيريا في حجم يكفي ليشتمل على العدد اللازم من الجزيئات لتكون معه خلية وظيفية . ومع تزايد حجمها يصبح انساعها أو تكاثرها معوقا بانتقاص وتيرة التأيض، انما يعود هذا على الأخص الى محددات موردها من الطاقة . والبكتيريا عوامل تخميرية، باستثناء بضعة اصناف . فهي تقوم بتحليل أو تجزئة المواد لغرض استمداد الطاقة الكيميائية منها . غير أن التخمر مصدر منخفض المورد للطاقة ، والمتعضيات التي تعتمد عليه كوسيلة الوحيدة لتوفير الوقود لعملياتها التفاعلية تبقى محكوما عليها الى الابد في مستوى منخفض من الوجود.

ومثلما للصغر منافع فانه للكبر منافع أعظم اذا ما تمكنت المتعضيات من توفير التركيز اللازم من الطاقة لتغذية الحجم الاكبر والتعقيد التنظيمي المزداد،

وعندما توات الظروف لتواجد شكل حياتي خلوي أكبر نشأ هذا ليتبوأ مكانه في العالم الحي. طوال الفي (٢٠٠٠) مليون سنة متواصلة كانت البروكاريوت شكل الحياة الوحيد في الوجود ، انما في اثناء تلك الفترة الطويلة عملت البروكاريوت على خلق الاحوال الملائمة لتمكن الحياة من الارتقاء الى حجم اكبر وتنظيم اكثر تعقيدا . لقد خلقت، بتنوعها المتضارب، تنوعة واسعة من المسالك الايضية فيما بينها ، وبنفس الاثناء أطلقت الطحالب الخضرزرقاوية في البيئة ما يكفي من الاوكسجين لاتاحة اكسدة الغلوكوز كليا الى ثاني اوكسيد الكربون والماء بواسطة عملية التنفس . أقر البيولوجيون في القرن الماضي بتواجد صنفين خلويين من الحياة ، لكن العلاقة النشوئية بينهما بقيت مجهولة ، وكذلك بقيت مسألة كيفية تحقيق المرحلة الاكبر والأكثر تعقيدا من الحياة من خلال النشوء التطوري أمرا تحديسيا صرفا حتى الآونة الأخيرة.

لقد تمكن الميكروبيولوجيون في القرن التاسع عشر من رؤية اختلاف الخلايا اليوكاريوتية بحجمها وأورغانيلاتها المغلفة بالاغشية عن الخلايا البكتيرية الاصغر منها، ولكنهم تعذر عليهم رؤية التفاصيل البنيوية الدقيقة التي كشف عنها المجهر الالكتروني فيما بعده مع ذلك، فقد كان بوسعهم أن يدرسوا المكونات الخلوية الفرعية (subcellular) المخضبة والمصبوغة ، وقبل مائة عام كان أي أف دبليو شيمبر (A.F.W. Schimper) أحد الخبراء النباتيين الذين اكتشفوا ان الجبيلة اليخضورية (chloroplast) لا يجري تمثيلها جديدة وانما يتم انتاجها بالانقسام[1]. يبدو ان شيمبر كان أول من لاحظ أوجه الشبه بينها وبين الطحالب الخضرزرقاوية الطليقة العيش . والميتوكوندريا، كالجبيلات اليخضورية ، ايضا تتكاثر بالانقسام . فقام بروفسور التشريح بجامعة لايبزيغ ريتشارد ألتمان[2] (Richard Altmann) في عام ١٨٩٠ بطرح

فرضيه بأن هاتين الجسيمتين شبيهتان بالبكتيريا ، وانهما في الواقع تعايشيتان (symbiont) • ان الاختلاف بين صنفي الخليتين كبير لدرجة ان البروكاريوت تكاد لا تتجاوز في الكبر حجم الوحدات الخلوية الفرعية لليوكاريوت. غير ان فكرة كون الميتوكوندريا والجبيلات اليخضورية خلايا بكتيرية الواحدة بباطن الأخرى جوبهت بنقد واسع آنذاك وأهملت في النهاية.

بعد ذلك بعشرين عاما قام ميريشوفسكي[٣] (K.C. Mereschowsky) في روسيا بتطوير فكرة الاصل التعايشي للاورغانيلات لكن أفكاره بقيت في معظمها مجهولة للعلماء خارج روسيا بسبب حاجز اللغة، ثم في العشرينيات من هذا القرن نهض البيولوجي الامريكي ايفان والين[٤] (Ivan Wallin) من مدرسة الطب بجامعة كولرادو بقوة عن الفكرة بأن الجسيمات الصغيرة الكائنة في باطن الخلايا اليوكاريوتية كانت تعايشية ومن أصل بكتيري. رغم ذلك، لم تجتذب هذه الفكرة اهتماما يذكر حتى عام ١٩٦٢ عندما اعلن هانز ريس (Hans Ris) ووالتر بلاوت[٥] (Walter Plaut) من جامعة ويسكونسن عن اكتشافهما للدنأ في الجبيلات اليخضورية • ثم بعد عامين من ذلك تم اكتشاف الدنأ في الميتوكوندريا المأخوذة من النباتات والحيوانات[٦]. وعلى حين غرة تم اقرار خاصية جديدة وبالغة الاهمية للخلايا اليوكاريوتية. فعلى نقيض البروكاريوت التي تحتوي على جزيئة واحدة فقط من الدنأ، وجد ان اليوكاريوت في الواقع تتضمن مراكز جينية عديدة ، أي انها بولي جينومية (polygenomic) •

لم يكن الدنأ موجودا فقط في الجبيلات اليخضورية والميتوكوندريا ولكنه كان ايضا مغلفا في انشوطة مغلقة مثل الدنأ في البكتيريا • اوحى هذا بقوة الى ان هذه الجسيمات دون الخلوية (subcellular) كانت تمتلك خواص التناسخ الذاتي اضافة الى قدراتها على تمثيل البروتين. وفيما تبقى البروكاريوت

كوحدات فردية ممثلة للبروتين ، وجد ان اليوكاريوت تتألف من عدد من الوحدات المنفصلة تقوم بتمثيل بروتيناتها الخاصة بها. وعند المزيد من التمحيص وجد ان الطحالب الخضرزرقاوية ، والميتوكوندريا ، والجبيلات اليخضورية جميعها تملك بُنى رهيفية مماثلة ومستقلة عن الغشاء الباطني للخلية، وجميعها لها دنأ وأنزيمات، وصبغات شبه جزرينية (carotenoid) ، وسيتوكرومات ، وغيرها من المكونات المشتركة للقيام بأنشطتها ، وجميعها تنقسم وتملك خاصية التبدل الطفري والتطور.

دللت الشواهد بقوة على ان اليوكاريوت لم تنشأ من البروكاريوت بطريقة الاتساع البسيط في التعقيد من خلال التمدد والتبدل الطفري في موادها الجينية ، انما بالارجح حصل شيء ما، أما فجأة أو أثناء فترة انتقالية طويلة ، جمع بين عناصر متنوعة من العالم البروكاريوتي في اتحاد دائم ومتنام لدرجة انه خلق شكلا جديدا من الحياة.

كان العالم الحي في الاحقاب الاولى والوسيطة من الدهر البروتيروزوئي مبنيا على أسس العمليات الانتقائية مثلما هو اليوم • وكانت المتعضيات البروكاريوتية تشحذ قدرتها من خلال التبدل الطفري ، وتطور أنواعا مختلفة شتى لتتسع الى أقاصي محدداتها البدنية ، وتعزز مكاسبها بواسطة التخصص. ولم يقتصر هذا الاتساع على المحيط الهامشي للبيئة الملموسة ، انما كشأن جميع مراحل النطاق الحيوي أو البيوسفير (biosphere) ، كان العالم البروكاريوتي مزدحما بالتبعيات الشكلية المورفولوجية والغذائية • كانت الاوتوتروف الضوئية والكيميائية (photo-and chemoautotroph) لوحدها هي التي تستطيع فقط استدرار متطلباتها العضوية من المواد اللاعضوية الصرف دون غيرها ، بينما اعتمدت جميع الاحياء الأخرى في تحصيل قوتها اما على التطفل والافتراس أو على الفضلات الايضية من الأخريات، وانتشر

التطفل والافتراس والتعايش التبعي على نطاق واسع في جميع انحاء النطاق الحيوي.

ان التعايش أو التعايش التبعي هو اشتراك متعضيتين اثنتين أو أكثر في علاقة نوعية للغاية مبنية على الاعتماد او التبعية المتبادلة ، ويمكن أن يتكون الترابط من مجرد علاقة طارئة الى اتحاد التزامي حميم. تحصل العلاقة عادة في الطبيعة في ظروف قاسية فوق العادة تتجاوز نطاق تحمل خزين المتعضية الواحدة من الانزيمات. ومن الامثلة الشائعة على هذا هو الحزاز (lichen) الذي يعيش في أماكن قاحلة مجدبة فوق طاقة الطحالب (algae) ، وشحيحة بالاغذية العضوية فوق طاقة الفطريات (fugi) • وبالنتيجة يضطر الحزاز القشري الناشف الى الاغتذاء كمؤلف شبه نباتي (plantlike composite) حيث تحتبك الملايين من خلايا الطحالب الخضرزرقاوية في طبقة قاعدية تتكون من شعيرات احدى الفطريات تتبدل فيها الاغذية بالتبادل بين المتعايشتين.

تنشأ العلاقات التعايشية بين متعضيات من جميع الاحجام وجميع الاصناف والانواع. تعيش البكتيريا في المسالك المعوية للحيوانات، وتستوطن الفطريات بالتعايش مع الطحالب، وتقريبا كل سمكة من نوع قنديل البحر (starfish) وقنفذ البحر (sea urchin) تملك متعايشة ميكروبية واحدة او اكثر. وبين النباتات والبكتيريا يتم تثبيت النيتروجين في جذور البقلات الكمعبرية ، وهي عملية يعجز أي من المتشاركين القيام بها بمفرده • كما ان التعايش (sybiosis) بين البكتيريا أمر عادي شائع، ولاسيما في البيئات اللاهوائية • في غياب الاوكسجين يكون تجرد (degradation) المواد العضوية بطيئا ، وفي الاغلب تستلزم جملة تحلل المواد العضوية الى منتوجات غازية جهود اكثر من نوع بكتيري واحد لانجاز التجريد الانزيمي التام.

فاذا كانت النظرية التعايشية تفسر الفجوة او حلقة الصلة الاستمرارية المفقودة بين النوعين من الحياة ، فلابد أن الاثبات عليها يكمن في الشواهد الكيميائية والبيولوجية التي تربط هذه الاجزاء من الخلية اليوكاريوتية المعتقد بانها تعايشية الاصل وتوصلها بوجودها السابق كمتعضيات طليقة العيش . فلابد أن الاورغانيلات التي كانت تعايشية كانت في زمن سابق لذلك متعضيات طليقة العيش وكانت لتملك كحد ادنى جزيئة الدنأ ورنأ رسول وجهاز لتمثيل البروتين بما في ذلك الرنأ الناقلة مع انزيماتها وريبوسوماتها وما تتضمنه هذه من البروتينات والحوامض النوويك ، ومصدر لثلاثي فوسفات الادنوسين (ATP أتب)، وجهاز لتمثيل اغشية الخلية • ولابد انه حصل انتقاءللتخلص من الفوائض او الزوائد عند دخول متعايشة في خلية مضيفة • وعليه لربما أن المتعايشة في باطن الخلية فقدت، أو لم تفقد، كل آلياتها للوجود المستقل باحالة وظائف التأيض الاساسية الحيوية الى عاتق المضيفة • لذلك ينبغي أن يكشف التحص على المواد الجينية في الاورغانيلات المعاصرة عن أدلة تبين الخواص المسبغة على المضيفة وترجع بنا الى الطبيعة الخاصة بالمتعايشة العتيقة.

فضلا عن ذلك، بالنظر الى السلوك التحفظي للنشوء البيولوجي، فربما لا يزال يوجد في الطبيعة امثلة من النظائر الطليقة العيش الطبيعية الحصول للسلالات المزامنة (codescendants) لتلك المتعايشات تحمل نفس الصفات الجينية والفسيولوجية ، التي قد تمكنت من البقاء حية في عالم متغير.

وتأتي الجبيلة اليخضورية للطحالب الخضراء والنباتات كالمرشح الابرز والاكثر احتمالا للاورغانيلة المنحدرة من اصل تعايشي،لأنها تبدو كالبروكاريوت الضوئية التمثيل. وهناك امثلة كثيرة للمتعضيات اللاضوء تمثيليه التي تقوم باستغلال الجبيلات اليخضورية في أشياء أخرى • فبعض المتعضيات تستمد الجبيلات اليخضورية من الطحالب لاتمام انتاجها من الطاقة ثم بعد ذلك تنبذها أو تهضمها عندما تنتفي حاجتها منها • كماان البطلينوسة او البزرحونة العملاقة

(giant clam) تغتذى جزئيا من الطحالب الضوء تمثيلية العـائشة بين خلايـا غطائها، وتقتني بعض البزاقات البحرية (sea slugs) الجبيلات اليخضورية بالاقتيات على الطحالب التي تعيش بعد ذلك مستقلة في باطن البزاقة وتقوم بعملية التركيب الضوئي لنفسها ولمضيفتها ايضا(٧). ومن بين الميكروبات نجد العسينية السـوطية (euglena) الضوء تمثيلية المألوفة التي تضم جبيلات يخضورية لهـا قيمتها اثناء الاضاءة ولكنها ليست جوهرية للحياة . وعند زرع المتعضية في سائل من البنيسلين تتوقف عن انتاج الجبيلات اليخضورية وتغدو غير متميزة الضيفيات الاولية العـاجزة عن الانتصاب او الـوقوف (protoan Astasia) العادية .

ربما كانت الطحالب الخضراء أول اليوكاريوت التي نشأت مع هـذه الاورغانيلة قبل حوالي الف (١٠٠٠) مليون سنة خلت عندما اقتنت سلالات اليوكاريوت السلالية الجد متعايشة ضوءتمثيلية . ثم نشأت الطحالب الحديثة والنباتات الأعلى الأخرى منها، بينما افضت سلالة أخـرى من اليوكاريوت الاولية الى الأحياء الاولية (protozoa) والفطريات والحيوانات الاعلى.

تبدي الجبيلات اليخضورية فردية ذاتية ملحة على الدوام ، ربما لأنها لم تكن قد اقتنيت كمتعايشات الا مؤخرا نسبيا ، فهي تملك خاصتها من الدنأ والرنأ الرسول وجهاز لتمثيل البروتين وريبوسومات حساسة للمضـادات للحيوية التي تؤثر على البكتيريا . تتضمن جبيلات الحرشفيات الاحـادية البرعمة من الطحالب الخضراء (chlamydomonas) تدوينة (coding) لعدة مئات من البروتينات ، وذلك على نقيض الميتوكوندريا التي لا تتضمن أكثر من حوالي جزء من عشرة من تلك السعة(٩). مع ذلك، فقد قـامت الجبيلات اليخضورية بتحويل بعض من معلوماتها الجينية الى صبغوسومات المضيفـة

منذ دخولها في العلاقة معها، وذلك لأنها الآن تحتاج الى مشاركة الجينـات النووية والجبيل يخضورية للتكاثر.

اذا كانت الجبيلات اليخضورية مقتناة بالتعايش فانها ينبغي أن تكون لا تزال تحمل آثارا من اسلافهـا البروكاريوتيـة . قـام فورد دوليتل(١٠) (Ford Doolittle) من جامعة دالهاوس بهاليفاكس في نوفاسكوشيا بمقارنته أوجه الشبه في الرنأ الريبوسومية من الاورغانيلة الضوء تمثيلية للطحلبة الحمراء بورفيريديوم (porphyridium) أو فرفريديومة مع تلك الموجودة في سيتوبلازمتها ذاتها ومع نفس الرنأ من الطحالب الخضرزرقاوية والجبيلات اليخضورية للفيسينية ، ووجـد ان الاورغـانلة كانت أقرب انتسابا الى المتعضيات الأخرى مما كانت للطحلبة الحمراء ذاتها التي كانت هي جزء منها. ان الطحالب الخضرزرقاويـة والكلوروكسي بكتيريـا (chloroxybacteria) نظائر طليقة العيش للجبيلات اليخضورية وربما ان الجد السلالي للاورغانيلة كان يشبه هذه المتعضيات الضوء تمثيلية .

ان الميتوكوندريا هي الاورغانيلات التي تبدو اكثر عتاقة من الجبيلات اليخضورية ، وذلك لأنه لا توجـد طحـالب او نباتات بدونها .فاذا كانت الميتوكوندريا منحدرة من متعايشة فلابد ان جدها السلالي كان ميكروبة لا ضوء تمثيلية تعتمد كليا على الاوكسجين للتأيض. كانت البكتيريا الأخرى تقوم بعملية التخمير (fermentation) لكن سوابق الميتوكوندريا كانت قد نشأت كهوائية تقتات على الفضلات التلف الناجمة عن عمليات تجزئة الكربوهيدرات من قبل متعضيات أخرى. وربما انها بالاصل كانت قد وجدت هذه المواد في البيئة ، انما في الاخير دخلت في علاقة تعايشية مع خلية مضيفة لتقتات على باطنها الغني بالغذاء. وفيما عاشت الهوائية الصغيرة في الزراعة agricuture

الغنية بخمير المضيفة وتمتعت بحمايتها أخـذت من جـانبها تمد مضيفتهـا بالمنتوجات الطاقوية الزائدة من تأيضها، الى أن في الأخير أدى الانتقـاء الطبيعي الثابت للنواقص والزوائد بين المضيفة والهوائية الى الاعتماد المتبادل، وأصبحت الميتوكوندريا عاجزة عن العيش مستقلة خارج الخلايا اليوكاريوتية، كما تعذر على الخلايا أيضا البقاء في الحياة عند حرمانها من ميتوكوندرياتها.

لقد احتفظت الميتوكوندريا بخاصتها من الدنأ والرنأ الرسول والرنأ الناقلة والريبوسومات . وسلك الدنأ وزنا جزيئيا يقدر عشرة الى مـائة (١٠ــ١٠٠) مليون وحدة كتلية ذرية (atomic mass units)، لكن هذا لا يكفي للتكوين لجميع البروتينات في الميتوكوندريا[١١]. لذلك، تخلت الميتوكوندريا عن سيطرتها الجينية للجنومة النووية وبذلك أصبحت متعايشة مرغمة تعتمد على المنتوجات التي تقوم الخلية المضيفة بتمثيلها.

أما اذا كانت الميتوكوندريا من اصل بكتيري فينبغي هي ايضا أن تشبه البكتيريا الطليقة العيش الموجودة بين الميكروبات في يومنا هذا . وربما أن المتعضية المعاصرة بـاراكوكاس دينتريفيكانس (paracoccus denitrificans) وهي بكتيرة عصوية الشكل تقوم بأكسدة منتوجاتها التخمرية كليا الى ثاني اوكسيد الكربون والماء[١٢]، كانت سليلة مزامنة للميتوكوندريـا وانحدرت من نفس الجد الأعلى. عند مقارنة الجهاز التنفسي لهذه الهوائية مع نظيره في ميتوكوندريا الحيوانات والخميرة وجد ان الشبه كان باهرا . فالكوينونات والسيتوكرومات (quinones, cytochromes) المأخـوذة من أجهزتها للنقـل الالكتروني متقاربة الشبه كثيرا، غير ان البكتيرة تختلف باحتوائها على جدار خلـوي وبقدرتهـا على اختـزال النترات الى نتـريت (nitrate to nitrite) وبافتقارها الى جهاز نقل الأتب (ATP)، بينما الجدران الخلوية والاختزال

النتراتي فائضة عن حاجة المتعايشة بباطن الخلية وكان سيتم نبذهما بالانتقاء الطبيعي. اما جهاز نقل الأتب، من جهة أخرى، فلم يكن ليتواجد في هوائية طليقة ولكنه خاصية ضرورية للميتوكوندريا ، لذلك فربما ان هذا الجهـاز نشأ مع التعايش.

وما نوع المتعضية التي كانت ستمتص هوائية طليقة العيش الى باطنها في صحبة تعايشية؟ طالما يمكن اعتبار السيتوبلازمة كباطن الخلية المضيفـة فانه يبدو ان الخلية المضيفة كانت لا هوائية ذات مسلك ايمبدن ـ مايرهوف (Embden-Meyerhoff Pathway) لتخمير الكربوهيدرات . يتم تدوين الانزيمات السيتوبلازمية في الدنأ النووي، ولذلك فإن النواة ايضا مشتقة من الخلية المضيفة . توجد حول نواة الخلايا اليوكاريوتية ثلاث سمات بارزة تميزها عن الدنأ البروكاريوتي، فالمادة الجينية مرتبة في الصبغوسومات ، والنـواة مغلفة بغشاء دهني، ويتم استنساخ النواة بطريقة الانقسام الفتيلي. فربما أن لاحدى هذه السمات أو جميعها تلقي الضوء على طبيعة الخلية المضيفة السلف.

تختلف المادة الجينية اليوكاريوتية ايضا بكونها متواشجة مع البروتينات الاساسية أو القاعدية . بدنيا ، تقـاوم جزيئـة الدنأ التعبئة او الرزم لأن مجموعات الفوسفات تميل الى الاشتحان سلبيا فتنافر بعضها البعض، ويتيح الغشاء النووي محايدة هذا التنافر بالاحتفـاظ بتركيز أعلى من ايونـات الصوديوم الموجبة الشحنة في السائل النووي مما في السيتوبلازمة . كما تعمل هستونات المواد الجينية (Histone بروتين بسيط شديد القاعدية يفرز حوامض امينية عند الحلمأة)، ايضا على محايدة مجموعات الفوسفات وتسبب تعبئة متراصة.

اقترح دينس سرسي (Dennis Searcy) والعـاملون[١٣] معـه في جـامعة

ماساتشوستس وربما ان السايتوبلازمة المتوعبة للحرارة والحوامض (Thermoplasma acidophilum: heat-and acid-tolerant) سليلة مزاملة للخلية اليوكاريوتية. تمتلك هذه البكتيرة العديمة الجدران مثلك ايبقتسماير هوقد وبروتينات شبه هستونية لوقاية الدنا فيها من الحرارة والحوامض، وسهلة التحول في المعاشرة. غير انه عند مقارنة سياق النوتيدات في الرنا الريبوسومية (16S) لهذه البكتيرة بنص الرنا من متعضيات أخرى ابان التحليل ان البكتيرة كانت اقرب انتسابا الى البكتيريا الاركية ميثانوجنس (methanogens) وهالوبكتيريا (halobacteria) مما هي الى اليوكاريوت المعاصرة[14]. وعلى ما يظهر جاءت الخلية المضيفة من صنف آخر من السلف او بطريقة أخرى من النشوء.

واحتمال آخر هو ربما ان النواة بذاتها كانت قد بدأت كخلية في باطن الخلية المضيفة. يحمل غشاء النواة المكونة للانزيمات السايتوبلازمية وبعضا من المعلومات الجينية للاورغانيلات من اصل تعايشي مع ذلك، فهو مغلق بغشائه الخاص المنفصل، مما يوحي الى أن النواة ايضا بقية من متعايشة. وكان قد أفصح عن هذه الفكرة البيولوجي الروسي ميريشوفسكي (K.C. Mereschowsky) عند منقلب القرن ودعمها كل من جيه غوكسور (J. Goksoyr) من النرويج وجيه بيكيت هيبس (J. Pickett-Heaps) من جامعة كولورادو، وايج هارتمان (H. Hartman) من معهد ماساتشوستس للتكنولوجيا. الا انه اذا كانت النواة تعايشية فان السؤال يبقى مفتوحا حول ماذا حصل لدنا المضيفة وكيف اندمج الجهازان.

من جهة أخرى، اذا كانت النواة قد نشأت من الدنا البروكاريوتي للخلية المضيفة السايتوبلازمية، اذن لابد ان الدنا اكتسب غشاءه الخاص به في زمن

ما عند نشأته. عندما تنقسم الخلايا البروكاريوتية يلتصق الدنا فيها ونسخته بالغشاء النامي ويذهب كل منهما مع نصف الخلية الخاص به عند انقسامها. ولا يستبعد ان يكون الدنا في بكتيرة سلف قد التصق بالغشاء ثم انغمد في باطن الخلية بواسطة شدفة من الغشاء الخلوي.

كان من شأن اعتماد الدنا في باطن الخلية ان ينجم عن ايراد سريع لترتيبة الصبغوسوم. وربما ان استنساخ الدنا المنعزل بواسطة الغشاء النووي اثناء المراحل الاولى من نشوء الخلية اليوكاريوتية قبل اتساق النواة مع الانشطة الخلوية الاخرى خلق الامكانية لتعدد الدنا والاتساع المفاجيء بالمواد الجينية.

توجد سمتان للخلايا اليوكاريوتية ظاهريا غير متشبثتين وربما كان لها أصل مشترك، وهما عملية الانقسام الفتيلي والجهاز للحركة، وكلاهما يتم في اليوكاريوت بحزم من الالياف تسمى بالقويصبات المجهرية (microtubules) واذا كانت البروفسورة لين مرغوليس[15] (Lynn Margulis) من جامعة بوسطن صائبة فان كلا من عملية الانقسام الفتيلي والوسيلة اليوكاريوتية للتنقل نشأتا من التعايش بين الخلية ما قبل اليوكاريوتية وصنف من البكتيرة المعروفة باللولبية أو اللولبية الشعيرية (spirochetes).

بعض البكتيريا مجهزة بزائدة شعيرية واحدة أو أكثر تتألف من بروتينات ليفية لغرض الانتقال والحركة. وهذه الاسواط تمنح الحركة التنقلية ليس بحركة سوطية وانما بتقلص ايقاعي أو متوازن يتحرك لولبيا من خلال السوط من نهاية الى الأخرى، وبهذه الطريقة تستطيع البكتيريا النقالة مثل الإي كولي (E. coli) من تحقيق سرعات تبلغ (٢٥) ميكرومترا بالثانية الواحدةاو ما يقرب من واحد من عشرة آلاف (٠٫٠٠٠١) من الميل بالساعة الواحدة[16].

تستخدم الخلايا اليوكاريوتية ايضا نتوءات خلوية شعيرية للحركة.

وعندما تكون هذه النتوءات طويلة وقليلة ، مثل ذنب الجينات المنوية ، تسمى بالاسواط ويشار الى المتعضيات بالسوطيات • لكنها عندما تكون كثيرةوقصيرة فتسمى بالاهداب (cilia) ويشار الى المتعضيات بالهدبيات • تتألف الاسواط والاهداب من حزم من الالياف ذوات بنية في غاية الاتساق • يبلغ قطر الواحدة منها (٢٥ر٠) ميكرومتر وتتألف من ازواج من الاسطوانات الدقيقة (cyclinders) مع زوج آخر من القويصبات المجهرية في الوسط ، مضفية عليها تنضيدة بنيوية في (٩+٢)، وبما ان اسواط وأهداب اليوكاريوت تختلف بنيويا عن الاسواط البكتيرية المفردة الوهن الاصغر الأخرى، فانها مصنفة معا تحت عنوان أو اسم المتمورات الارجل (audupodia) •

يوجد بين البكتيريا صنف تكون المتعضية فيه مفتولة لولبيا • وبعضها، كالمشولات (vibrios) معقوفة قليلا فقط مثل علامة الفاصلة (، بالعربية او: و باللاتينية) ، لكن اللولبيات (spirochetes) مفتولة لدرجة ملحوظة ، وتتألف ابدانها من اسطوانة بروتوبلازمية مغلفة بغشاء بلازمي (plasma membrane) واللولبيات شديدة الحركة للغاية بفضل طولها ورفاعتها ومرونتها ، وتتحرك في الوسط بحركات تمورية متموجة•

يوجد تشابه ضارب في الحركة والحجم بين اللولبيات والمتمورات الارجل من الخلايا اليوكاريوتية ، ومن انماط السلوك الشائعة لدى اللولبيات هو التصاقها بالاشياء والنبض بتوافق متناغم ، وتطرح مرغوليس مثالا فريدا من سلوك اللولبية بمتعضية معاصرة ربما يشبه واقعة عنيفة حدثت في تاريخ اليوكاريوت• تعيش في المصران المؤخر (hindgut) للارضة (termite) الاوسترالية متعضية يوكاريوتية تسمى بمختلطة الشعر المحيرة (mixotricha paradoxa) تملك أربعة متمورات الارجل• لكن الميكسوتريكا لا تستخدم هذه الزوائد للتنقل ، انما تنقل بواسطة نصف مليون من اللولبيات الملتصقة بها المتحركة_

في تمورات متسقة وتستخدم المتمورات الارجل بمثابة دفف[١٧] (جمع دفة)•

توحي أوجه التشابه بين اللولبيات والمتمورات الارجل للخلايا اليوكاريوتية الى ان هذه الاخيرة نشأت من تعايش عتيق للمتعضيات شبه اللولبيات مع الخلية المضيفة • على ما يظهر التصقت اللولبيات بالخلية المضيفة للاقتيات على الغذاء المتحلب من خلال الغشاء، وبدورها اسبغت المتعايشات الحركية على الخلية ما قبل اليوكاريوتية (pre-eucaryote) ، وهي صفة كانت لتمنح اليوكاريوت الناشئة ميزة كبرى في البحث عن القوت• كما تفسر النظرية التعايشية ايضا السبب في قدرة المتمورات الارجل على الانفصال احيانا من الخلية والسباحة بعيدا هاجرة اياها•

لا تزال الشواهد الكيميائية التي تنسب أصل المتمورات الارجل الى اللولبيات السلف ناقصة قليلة ، انما قد يعود هذا الى أن تعاشرها التعايشي بدأ قبل تعاشر الميتوكوندريا والجبيلات اليخضورية بزمن طويل جداء مع ذلك ،فقد تم العثور على الرنأ في الحركوسومات (kinetosomes) وهي ابدان خلوية صغيرة تنمو منها المتمورات الارجل • وباستثناء الرنأ يبدو ان المتمورات الارجل لم تعد تتضمن موادا جينية ، بعد ان انتقلت قدراتها التكاثرية والتأيضية الى الصبغوسومات النووية اثناء تبعية تعايشية طويلة•

لكن بنيويا تملك المتمورات الارجل التنضيدة القويصبية المجهرية ٩+٢ المرئية في تركيبة بعض اللولبيات ولاسيما تلك الموجودة في نمل الارضة• زيادة على ذلك، ان حجم الزوائد اليوكاريوتية والبكتيريا اللولبية متساو تقريبا• فاذا كانت اللولبية سليلة مزامنة فان المتعايشة فقدت غشاءها البلازمي اثناء فترة نشوء الخلية اليوكاريوتية•

من المستلزمات الخطيرة لليوكاريوت الناشئة كان التناسخ والانفصال

المنتظمين للدنأ النامي لهاه لقد أصبح الدنأ اليوكاريوتي الف مرة اكبر من الدنأ البسيط في البكتيريا، فطورت اليوكاريوت عملية الانقسام الفتيلي لغرض نسخ وتقسم هذه الترتيبة المعقدة • وعند الاشارة تقوم بدينات نقطوية دقيقة تسمى بالوكائت او السنتريولات بالذهاب الى الاجزاء في الجانب المقابل من الخلية وترسل وشائع spindle = وشيعة) للالتصاق بالصبغوسومات ولفها على كل نصف من الخلية • تبين نصمة المجهر الالكتروني لمقطع عرضي من الوكيتة ان هذه الاورغانيلة تضم نضيدة من (٩+٠) من القويصبات المجهرية. ويختلف نمطها عن تلك في المتسورات الارجل فقط بانعدام زوج من الاسطوانة في المركز•

تقترح مرغوليس[١٨] ان الآلية الدقيقة المحكمة والعالية القدرة لعملية الانقسام الفتيلي كانت قد اكتسبت تعايشيا من متعضية حركية ذات النضيدة (٩+٢) • وربما كان بين نفس اللولبيات الحركية التي كانت اسلافا لاسواط الخلايا اليوكاريوتية متعايشات دخلت الى الخلية من خلال الغشاء بلا رجعة الى الابد•

أدى اكتشاف الطبيعة البوني جنومية للخلية اليوكاريوتية بالبيولوجيين الى الادراك ان الانتقال من البروكاريوت الى مرحلة أعلى من الحياة لم يتم بالتطور من صنف واحد من الخلية ، وانما من تضافر منها (consortium) لدينا سلف في ماضينا لما قبل الكمبري كان قد نتج عن اندماج العديد من من السلالات السلف التطورية • كما أن الطريقة التي تم بها هذا الالتئام بين أصناف متنوعة من المتعضيات هي ظاهرة شائعة لا تزال مستمرة في العالم البيولوجي الى اليوم• رغم ذلك، لقد كان التعايش الذي أسفر عن اختلاق الخلية اليوكاريوتية فريدا منقطع النظير في مغزاه، اذ أنه اقتحم العتبة التي انفتحت الى تعاقب سريع نسبيا الى جميع الاشكال الأعلى من الحياة، بما فيها الجنس

البشري ذاته•

كانت نشأة الخلية اليوكاريوتية باهرة النجاح وأفضت الى مجيئنا الى الوجود • لكن الحياة بقيت مقتصرة على المستوى الميكروبي لفترة ثمانين بالمائة (٨٠٪) من زمن وجودها قبل أن تبدأ النباتات والحيوانات بالظهور فلماذا استغرقت كل هذه المدة الطويلة؟

كانت الارض قبل الفي (٢٠٠٠) مليون سنة عالما في الانتقال • ومنذ ان نشأت الطحالب الخضرزرقاوية مع قدرتها الانزيمية على تحفيز الماء ضوئيا كانت قد بدأت تطلق الاوكسجين في البيئة ، لكن لمجرد ان يجري امتصاصه بسرعة في ايونات الحديد الثنائي التكافؤ للبحار الآركية وترسيبه كأوكسيدات غير ذائبة مع السيليكا في قرارات حديدية طبقية • لكن بعد انقضاء الف (١٠٠٠) مليون سنة كانت «بالوعة الاوكسجين» قد بدأت تفرغ من الايونات المختزلة• ثم في انبثاقة أخيرة من الترسب قبل حوالي الف وثمانمائة (١٨٠٠) مليون سنة خلت انتظفت البحار من الحديد الذائب ومعها بدأ الاوكسجين الجزيئي يتراكم في الجو وفي البحار[١٩]• وتركت الارض أحوالها المنقوصة في العهد العتيق خلفها فيما أخذت تتجه نحو الحالة المؤكسجة (oxygenated) وخواصها الحديثة ، وبتناميه حمل الاوكسجين معه ما جعل المتعضيات تتكيف لمفعوله القوي المكين•

لقد جاء الاوكسجين بمثابة سم قتال يحمل معه الموت للاحياء اللاهوائية التي اضطرت الى الاحتماء منه واتقائه في الاماكن المستورة والبقع الحاجبة له• اما بالنسبة الى الهوائيات فقد حمل الاوكسجين معه وعد الفسفرة التأكسدية (oxidative phosporylation) وتركيز للطاقة أعظم بثمانية عشر مرة (١٨) من تاج التخمر الهزيل•

يبدو ان اليوكاريوت ظهرت في زمن يقع في حوالي ما قبل الف واربعمائة (١٤٠٠) مليون سنة خلت• ومع القوة الدافعة للغلكلة الكلية (total glycolysis)

تمكنت من استمداد الطاقة الكافية لدفع نفسها قدما الى عالم جديد بأجمعه. وفي بحر ستمائة الى سبعمائة (٦٠٠ـ٧٠٠) مليون سنة بدأت اللاحشويات والسمك الهلامي والاسفنج بالظهور في البحار مخترقة حاجز تعدد الخلوية، وما ان انفتحت دروب البعد الجديد هذا حتى امتلأت بسرعة وفي بحر مائة (١٠٠) مليون سنة بأشكال الحياة الجديدة في اتساع انفجاري متشعبة الى جميع الاصناف التشريحية الاساسية. ولم يبق الآن الا استيطان القارات بالأحياء الحيوانية والنبات وظهور الفقريات ، وكلاهما تم في وقت لاحق.

يوجد اجماع بين علماء الارض على ان الكمية الهائلة من الاوكسجين المطلق الموجود في الجو هي نتيجة تراكمه عبر الدهور من المتعضيات الضوء تمثيلية التي ما فتئت تصبه في البيئة. ولا تزال هذه العملية مستمرة اليوم بواسطة النباتات والمتعضيات المجهرية الضوء تمثيلية ، مع ما يقدر بتسعين بالمائة (٩٠٪) من هذا الاوكسجين متولدا بفعل العوالق الاشنية أو النباتية في البحار (phytoplanktons). ان الاوكسجين الجوي بتركيزه البالغ واحدا وعشرين بالمائة (٢١٪) يقدم أكثر من مجرد توفير الاحوال الملائمة لديمومة الحياة الهوائية ، فهو ايضا يوفر ساترا من الاوزون (ozone) في الطبقات الاعلى من الجو لدرء الاشعاع ما فوق البنفسجي في المدى ما بين (٢٤٠ـ٢٩٠) نانومترا والمدمر لجمع المواد العضوية . (ملاحظة نانومتر nanometer وهو جزء من الف مليون جزء من المتر، أي طول قدره ١٠ $^{-٩}$ متر.)

للضوء ما فوق البنفسجي تأثير ضار وتدميري على المادة الحية ، ويحطم المتعضيات المجهرية المكشوفة بسرعة بشل نشاط مادة الدنأ فيها. وهو السبب في سفع أو حرقة الشمس. انما جميع الاشعاع ما فوق البنفسجي محجوب اليوم بواسطة طبقة الاوزون الكائنة في تخوم الجو العليا والمتكونة بفعل الضوء ما فوق البنفسجي القصير الموجه على الاوكسجين . وقبل تواجد

الاوكسجين الجوي كانت الاشعة ما فوق البنفسجية من ضوء الشمس تسطع على سطح الارض وتتغلغل الى الطبقات العليا من البحار بشدة عنيفة وتنشر الدمار بين الحياة الضعيفة المتعرضة لها. (ملاحظة: الجو يعني ايضا وحدة مقايسة فيزيائية لقياس الضغط الجوي، والجو الواحد له ضغط قدره (١٠١٣٢٤٩) داينا بالسنتمتر المربع على سطح البحر (dyne/c2) ، أو حوالي (١٤ر٦٩) رطلا (lbs) بالبوصة المربعة . وبجو واحد يبلغ مقدار الاوزون في هذا الدرع الطبقة طبقة من الغاز الصرف سمكها فقط ثلاثة سنتمترات . انما هذه الكمية ممذوقة بالطبع بغازات الهواء الاخرى وتقع على ارتفاع يتراوح ما بين عشرة الى أربعين (١٠ـ٤٠) ميلا، أي ان الطبقة الجوية المحتوية للاوزون تبلغ في الواقع عدة اميال في سمكها. مع ذلك، فاذا انتقصت كمية الاوزون في الجو الى الثلث، على سبيل المثال ، فان ذلك سيؤدي الى تدمير بشرتنا في ظرف دقائق عند التعرض ، ومن جهة أخرى، لو ضوعفت هذه الكمية من الاوزون فمن المحتمل أن يؤدي هذا الى فناء الجنس البشري من الوجود بسبب انعدام فيتامين جوهري، ويختنق بفعل تراكم كتل البكتيريا الهائلة).

تعرضت الارض خلال الفترة بين ما قبل الف وثمانمائة (١٨٠٠) مليون سنة وبزوغ فجر الحقب الكمبرية ما قبل خمسمائة وسبعين (٥٧٠) مليون سنة خلت، الى تغير بالغ وشامل ماديا وبيولوجيا اثناء ما كان مستوى الاوكسجين الجوي يتزايد. اثار دخول الاوكسجين المطلق الى البيئة تجاوبين بيولوجيين اثنين، اذ معه بدأت الهوائيات تظهر مستخدمة تأيضا تأكسديا محدودا منخفض الطاقة، وبدأت اللاهوائيات تنشد الوسائل لاتقاء آثاره القتالة. لابد أن ردود الفعل هذه وقعت في آن واحد. وعندما يبلغ الضغط الجزئي للاوكسجين ارتفاعا كافيا للفسفرة التأكسدية ينقبض الهيدروجناز (hydrogenase) وغيره من الآليات التحفيزية اللاهوائية المماثلة وتأكسد حتى الخمول. وكان أول من لاحظ هذا المستوى للاوكسجين حيث يكتب الاختمار

وتتوقف فترة الامكانية لبدء الحياة الهوائية (aerobiosis) هو لويس باستور، ويبلغ هذا المستوى واحد بالمائة (١٪) من تركيز الاوكسجين اليوم[٣٠].

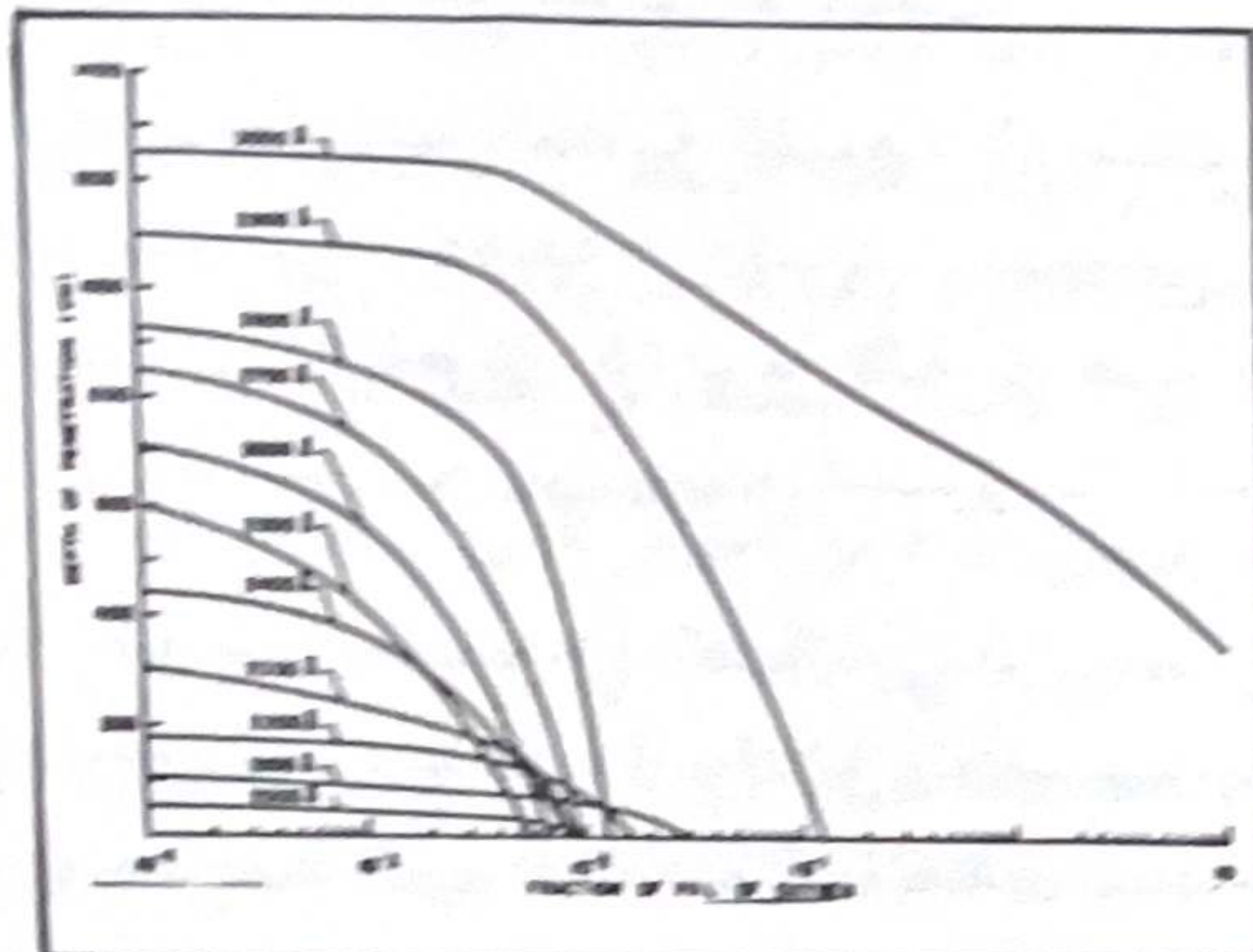
والى ان تراكم درع واق من الاوزون في أعالي الجو لحجب الضوء ما فوق البنفسجي لابد ان مواطن الاحياء الضوء تمثيلية بقيت مقتصرة على منطقة ضوئية محجوبة بطبقة من الماء أو الرواسب المترجة، ومع تضاؤل الاشعاع ما فوق البنفسجي أمام الطبقة الاوزونية المتزايدة بدأت العوالق الاشنية او النباتية البحرية تتسع وتتصاعد الى الطبقات السطحية حيث التمثيل الضوئي أكثر نشاطا . ويغلب الاحتمال أن انتشار العوالق الاشنية البحرية على سطح البحار المكشوفة عجل الى حد كبير من ازدياد الاوكسجين في النطاقين البحري والجوي وبدوره ادى الى تزايد الطبقة الاوزونية واتساع المنطقة الحياتية.

اما بالرغم من امكانية رسم توالي الاحداث فان تنظيمها في تسلسل زمني ثابت أكثر صعوبة ، يتوقف تثبيت زمن التجاوب البيولوجي وظهور الطبقة الاوزونية على معرفة مستويات الاوكسجين الجوي اثناء الاحقاب ما قبل الكمبري، وهذا لا يمكن سوى استنتاجها بأسلوب غير مباشر . لكننا نعلم من السجلات الاحفورية ان الحيوانات ذوات الاجزاء الصلبة نشأت على نحو انفجاري في البحار عند بداية الحقب الكمبرية وأخذت تستوطن القارات بحوالي مائة (١٠٠) مليون سنة بعد ذلك.

بدون الاوكسجين الجوي كان الضوء ما فوق البنفسجي بموجاتطولها ٢٦٠ نانومترا يتغلغل في الماء حتى عمق سبعة (٧) امتار . وقد قام ايل دبليو بركنر (L.W. Berkner) وايل سي مارشال[٣١] (L. C. Marshall) بالتدليل على ان هذا الاشعاع المخرب بيولوجيا كان قد انتقص فجأة مع ارتفاع مستوى

الاوكسجين بنسبة واحد الى عشرة بالمائة (١-١٠٪) فوق نقطة باستور متيحا بذلك المجال أمام العوالق الاشنية البحرية للتوسع والانتشار في جميع أنحاء الطبقات السطحية للبحار ورفعت هذه بسرعة وتيرة تراكم الاوكسجين. وبارتفاع مستوى الاوكسجين الى نسبة ثلاثة بالمائة (٣٪) فوق نقطة باستور كان قد أصبح ممكنا ابتداء مؤايضة المتطلبات الاوكسجينية المنخفضة نسبيا مؤدية الى ظهور موجة من تعدد الخلوية بين اليوكاريوت.

لقد أشار بريستون كلاود الى أن تزايد الاوكسجين يبطء بعد ما قبل الف وثمانمائة (١٨٠٠) مليون سنة خلت كان قد اصطحبه تزايد في انتشار رواسب الحجر الجيري والدولوميت ، مما يدل على انتقاص مستوى ثاني اوكسيد الكربون الجوي. وربما أن سعة انتشار القرارات أو الرواسب الجليدية في آونة أواخر الدهر ما قبل الكمبري تعكس النسبة الكبيرة في ازدياد الاوكسجين وفي انتقاص ثاني اوكسيد الكربون في تلك الآونة. وقلة



الشكل ١١/١ - رسم بياني يبين مدى تغلغل الاشعاع ما فوق البنفسجي في الماء في خلائط مختلفة من اجواء الاوكسجين والاوزون

الاوكسجين اثناء الازمنة ما قبل الكمبرية مدعمة بندرة الغلوكونيت glaucoaite وهو سيليكات البوتاسيوم والحديد، وقرارات كبريتات الكلسيوم الرسوبية في نفس الازمنة ، على نقيض غزارتها في الرواسب الاكثر حداثة.

لا شك ان ظهور الحيوانات المتعددة الخلايا جاء في أعقاب نشوء العمليات الخلوية الاساسية اللازمة لجعل ظهورها الفاجيء ممكنا، وتوجد ادلة بيولوجية على ان الاوكسجين كان قد أصبح عاملا مؤثرا في البيئة بزمن طويل يسبق ما توحي به الآثار الجيولوجية . وقد أعلنت مرغوليس ورمبلر Rambler[٣٣] ان البروكاريوت ، وحتى أنواع قريبة الانساب، كثيرا ما تختلف في تجاوبها للاوكسجين ، مما يوحي الى انها طورت انماطها التأيضية الرئيسة بالاستجابة الى مستويات من الاوكسجين متباينة ومتصاعدة . لكن لما كانت اليوكاريوت متوحدة للغاية في تجاوبها للاوكسجين، فان هذا يوحي في الظاهر الى ان آلية مواجهة الاوكسجين كانت قد نمت في مجموعات بروكاريوتية مختلفة وكانت قد تطورت وترسخت حين ظهرت اليوكاريوت.

وهذا الرأي يبدو مدعما بالعلاقة الظاهرة لانزيمات الاوكسيداز (oxidase) التي تعمل على اخماد فاعلية البروكسايد (peroxides) . وقد كشف التسيق أو ترتيب السياق الجزيئي عن درجة عالية من الشبه في سياقات الطرف او النهاية العيارية (N-terminal) لديسميوتاز السوبروكسايد (superoxide dismutase) بين انزيمات الحديد والمنغنيز في بكتيرة اي كولي، وأنزيمة المنغنيز الميتوكوندرية، وبكتيرة باسيلاس ستيروثرموفيلاس (Bacillus stearothermophilus) أي العصية او القويصبة الحرارية الدهنية او المجتذبة اليها)، مما يجعل من المحتمل ان الجد او السلف في أصل القويصبة (bacillus) كان يملك ديسميوتاز سوبروكسايد وظيفية[٣٣]. غير ان هذا لا يدل بالضرورة علي

تواجد مستوى عام من الاوكسجين الجوي والذائب في البيئة ابان الدهر الاركي، وذلك لأنه كان بامكان اصناف بروكاريوتية وثيقة الصلة بالطحالب الخضرزرقاوية المطلقة للاوكسجين أن تنمي الاوكسيداز والتأيض التأكسدي بزمن طويل قبل وصول الجو الى حالة مؤكسدة ، والى حد كبير مثلما تفعل الميثانوجين اليوم في استمداد الهيدروجين الغازي المتحرر من الكلوستريديا.

تطرح مرغوليس قضية مقنعة في انه كان بامكان المتعضيات المجهرية أن تنمو على حواشي أو ضفاف القارات بزمن طويل قبل ظهور النباتات والحيوانات فيها في الحقب الكمبرية فقد كان بوسع مستوى من الاوكسجين الجوي قدره واحد بالمائة فقط (١٪) من نقطة باستور أن يوفر ما يكفي من الاوزون لوقاية سطح الارض من أغلب الاشعاع القاتل . زيادة على ذلك ، تملك المتعضيات المجهرية البروكاريوتية العديد من الوسائل لوقاية نفسها ضد الاشعاع، بما في ذلك آلية انزيمية تعمل على اصلاح الدنأ التالف. وعليه ليس من المستبعد أن تكون الحياة قد زحفت الى القارات حتى منذ الدهر الاركي، وذلك في حصيرة غلافية من طفاحة البكتيريا الضوء تمثيلية الخضرزرقاوية والارجوانية ممتدة من السواحل، وتحت هذا البساط كانت طبقات من البكتيريا اللاهوائية واللاضوء تمثيلية الصفراء والبنية والسوداء تسعى وراء غذائها فيما كانت بكتيريا أخرى غضة الابدان واصناف من الفطر تنمو بين دقائق التربة[٣٤].

تعتقد مرغوليس ان الزمن الطويل الذي استغرقته اليوكاريوت للتطور الى حيوانات الحقب الكمبرية المعقدة المتعددة الخلايا مرده الى عوامل بيولوجية أكثر منها بيئية . استلزم الزحف نحو تطور معقد لخلائق ذوات اقياض وعظام العمليات الدقيقة المتقنة المتمثلة في الانقسام الفتيلي ـ الانقسام الاختزالي (mitosis-meiosis) وتنظيم الكلسيوم ، واصبحت عملية الانقسام الفتيلي ممكنة فقط من خلال تنشئة دورة خلوية (cell cycle) ، ونظام

صبغوسومي، وآلية التوزيع الجيني بواسطة القويصبات أو الاوعية المجهرية (microtubules) • وتتطلب أجهزة القويصبات المجهرية الفتيلية الانقسام تركيزات منتظمة ومنخفضة من ايونات الكلسيوم لبلمرة البروتين وربما كانت مسبقا قد كيفت متعضيات لتقوم لاحقا بتنشئة خواص كربونات كلسيومية سائدة وواقية ، جميع هذه العمليات تحتاج الى اوكسجين وكانت لتستغرق زمنا طويلا للنشوء•

عند تعريض المتعضيات المجهرية الى مدرج اوكسجيني (oxygen gradient) سواء في المختبر أو في الطبيعة كما في اعماق التربة ، ينتهي انتشارها بما يعكس مستوى الاوكسجين• تتراصف البروكاريوت في المدرج بحسب تباين احتياجها الى الاوكسجين ، مبينة بذلك ان هذا الغاز لا يزال عاملا انتقائيا بالنسبة اليها• أما اليوكاريوت، من جهة أخرى، فانها تنزع كمجموعة الى الاختلاط بالمستوى الهوائي التام• وتعتقد مرغوليس ان هذا دليل قوي على ان جو الارض كان مؤكسجا بالتمام عندما نشأت اليوكاريوت[٢٥]•

غير ان تقدير وتيرة النشوء عملية غير أكيدة مثلما هي عملية تقدير تركيزات الاوكسجين في الدهر ما قبل الكمبري، ذلك لأن النشأة البيولوجية ليست عملية منعزلة بذاتها وانما وثيقة الارتباط بالبيئة المادية الطبيعية• لقد خلقت المتعضيات الضوء تمثيلية في اكسجتها للبيئة كمينا من الطاقة أمد اليوكاريوت بالقوة اللازمة لنشوئها• لا يبدو من المحتمل انه قد انقضى زمن طويل بين النشوء البيولوجي والجيولوجي، وربما أن سرعة تعجيل تزايد مستوى الاوكسجين في أواخر الدهر ما قبل الكمبري أدت الى تعجيل مماثل في النشوء البيولوجي، مثلما أدت الاماكن البيئية الجديدة الانفتاح الى تنويع انفجاري لاستيطانها•

الفصل الثاني عشر – البكتيريا الآركية او الاولية

لم يكن ارتقاء المنظومات البيولوجية الى حجم اكبر وأكثر تعقيدا من مجرد التام للكيميائيات البسيطة قبل ما يناهز الاربعة آلاف مليون سنة خلت تقدما سويا مطردا • فالنشأة الداروينية تشرح لنا الوسائل اللازمة لارتقاء الحياة الى المتعضية الأكثر اقتدارا في البقعة البيئية الملائمة (ecological niche) • انما في مناسبتين رئيسيتين نهضت خلائق بيولوجية من المستوى الثابت الراسخ لتنتشر في متسع أكبر في العالم المادي، في ساحة جديدة كل الجدة من البقع البيئية المكشوفة في العراء• واحدى هاتين المناسبتين كانت نشأة الخلية اليوكاريوتية التي فاقت الخلية البكتيرية حجما وتعقيدا بدرجات عدة • أما المناسبة الأخرى فكانت عندما انبجست الحياة من عالم الميكروب الى تعدد الخلايا، الى البعد الملموس للنبات والحيوان•

تبقى المبادىء الداروينية صائبة مشروعة على جميع المستويات • فالمتعضيات تفرط في مكاثرة نوعها، والتنافس بين الافراد يفضي الى تحسين الخاصية التكيفية • لكن التنافسية في النشأة أثناء التدرج من الميكروبة الى الانسان قد انتقلت من الكيميائي الى المادي• تتألف الحياة في المستوى البكتيري من التنافس بين العمليات البيوكيميائية على استهلاك المواد ذات الطاقة الكيميائية ، والتقدم الى رتبة اليوكاريوتية والحجم التعددي الخلايا دفع بالتنافس الى حدة التكالب بالمخالب والاضراس ، والى الأشكال والزوائد البدنية لانتزاع المواد العضوية من باطن النطاق الحيوي• اذ فقط الضوء تمثيليات كانت تستمد طاقتها من الخارج، بينما كانت كافة أشكال الحياة الأخرى تسعى في التركيبة البيولوجية للنطاق الحيوي ذاته للحصول على ما يعينها على البقاء•

لقد أثر التقدم من التنوع البيوكيميائي الى تكييف التفاصيل البنيوية في عمل الخبراء الباليوتولوجيين المعنيين بمهمة تشييد السلم النشوئي، وكانت الآثار الاحفورية، التي تكشف عن التغيرات الشكلية المورفولوجية ، وسيلة ثمينة في الاستدلال على السلالات الانحدارية للنباتات والحيوانات منذ ظهورها في فجر الحقب الكمبرية قبل خمسمائة وسبعين (٥٧٠) مليون سنة خلت. انما تشييد الخطوط السلالية الانحدارية للبكتيريا، من جهة أخرى، كان أمرا مختلفا بحد ذاته، وذلك لأن تنوعية البكتيريا بيوكيميائية الصفة بالاصل . فقد اقتصرت سعة انتشارها وتنوعيتها على تباين العمليات الانزيمية لاستدرار الطاقة الكامنة في الاصناف المتعددة من المواد الكيميائية بينما بقيت اشكالها البدنية شديدة الشبه قلما توحي بأية أدلة الى ترتيبها النشوئي. وبالنتيجة ، فان بساطة الشكليات البكتيرية بذاتها تحول دون امكانية استمداد أية معلومات تنورية من أحافيرها المجهرية.

استلزم الامر النزول الى مستوى آخر من التعقدية لاقامة علاقة بين الانواع العديدة من البكتيريا، الى المستوى الكيميائي حيث تنمو الجزيئات بالحجم فوق الصغير اللامحسوس لتصبح الجزيئات العملاقة لعمليات الحياة. فعندما تتعرض جزيئة الدنأ للتبدل الطفري في سياق نوويتيداتها ، ينعكس هذا التغير في تركيبة كل من حوامضها النووية وبروتيناتها على السواء، وبهذا تتحول هذه البيوبوليمرات الى ساعات أو أجهزة قياس زمنية جزيئية يمكن استخدامها لتحديد الزمن الذي تشعب فيه النوع من سلف مشترك. وعليه ، بمقارنة الجزيئات المتماثلة من متعضيات مختلفة يتمكن الخبير البيولوجي من وضع العلاقات السلالية للكائنات الحية في ترتيبها السلالي الانحداري، ويشمل هذا حتى التنويعة الهائلة من البكتيريا.

بوسع تاريخ البكتيريا السلالي أن يوفر لنا منظورا الى الخواص

البيوكيميائية الاكثر عتاقة، ومتى ما امكن تمييز التدرج الترتيبي، نستطيع أن نتساءل ببعض الثقة في الحصول على جواب: كيف كان اعتق اشكال الحياة؟

يكمن الحل للاالقية السلالية في الكون المجهري الكيميائي للبكتيريا في تشييد خطوط السلالات الانحدارية للعمليات التآيضية ، ويمكن انجاز هذا بمقارنة النوويتيدات الزمن قياسية، أي الحوامض النووية والبروتينات الداخلة في المسالك البيوكيميائية ، مع تركيز الاختيار على تلك البيوكيميائيات التي يمتد وجودها أقرب ما يمكن الى جذور الحياة السلف الاول . لكل من الفريدوكسين والسيتوكروم علاقة مشاركة بجهاز النقل الالكتروني في عملية استمداد الطاقة ، ولذلك فانهما قاعديان لا ريب. ولما كانت ترجمة المعلومات الجينية الى بروتينات تتم في الريبوسومات فان هذه تملك اسلافا سلالية ينبغي أن تمتد الى زمن ظهور الشكل البكتيري للحياة.

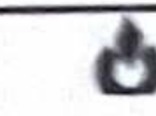
قامت مرغريت دايهوف وروبرت شفارتس[1]، في مدرسة الطب لجامعة جورجتاون بواشنطن دي‌سي بطرح شجرة سلالية للاسلاف البكتيرية مبنية على سياقات الفريدوكسين والرنأ الريبوسومية خمسة أس (5S ribosomal RNA) والسيتوكرومة‌سي للبكتيريا ، فقد اكتشفا ثلاث مناطق من التجدد او الابتداع التآيضي ظهرت في الدهر ما قبل الكمبرى، وأقدمها هي سلالة لا هوائية ، بينما تعكس المنطقة الوسطى قيام التمثيل الضوئي المحرر للاوكسجين والتنفس الهوائي. ومن هذه المنطقة نشأت البكتيريا الهوائية والتعاشر التعايشي الذي افضى الى ظهور اليوكاريوت.

وبناء على سياقات الفريدوكسين تأتي الكلوستريديا نوع البكتيريا اللاهوائية التي تبدو الاقرب الى جذور الاصل السلف. فاللاهوائيات تستخدم الفريدوكسين في شطر حامض البيروفك لاستخراج فوسفات الاستيل acetyl phosphate = والاسيتيل هو الجذر الاساس او الشق (radical

ذو الصيغه CH3CO وهو مشتق من حامض الخليك ويتواجد فقط في مركبات/ وإيضاق الكربكسجة الاختزالية لأحد مشتقات الانزيمة المساعدة أ الاسيلي أو الشق أساسي (reductive carboxylation of an acyl=acyl coenzyme A derivative) اسيل هو شق اساسي (radical) صيغته RCO مشتق من حـامض عضوي بنزع مجموعة OH منه. والكربكسجة carboxylation مركبة من كلمتي كاربون واوكسجين.) وعليه فان الفريدوكسين هو الذي اتاح للكلوستريديا العتيقة (ancient clostridia) لسد احتياجاتها من الأتب ATP ومنحها القدرة الاختزالية للتفاعلات البيوتمثيلية (biosynthetic) بالغلكلة وشطر البيروفات.

وبعض الكلوستريديا تملك القدرة للقيام بالتمثيل الكلي للخلات (acetate) من ثاني اوكسيد الكربون اثناء التخمر، بينما تقوم أخرى باختزال الفيومارات fumarate: ربما دخانات، أي املاح دخانية) الى خلات. وبناء على هذا يمكن الاستنتاج أن انواع الكلوستريديا الاولية كانت تملك المقدرة على اختزال ثاني اوكسيد الكربون وتمثيل الهيم او الصبغيم (heme) لسيتوكروماتها، واستعمال الفوسفات كمتقبل الكتروني نهائي (terminal electron acceptor) لعمليتها اللاهوائية في استخراج الطاقة.

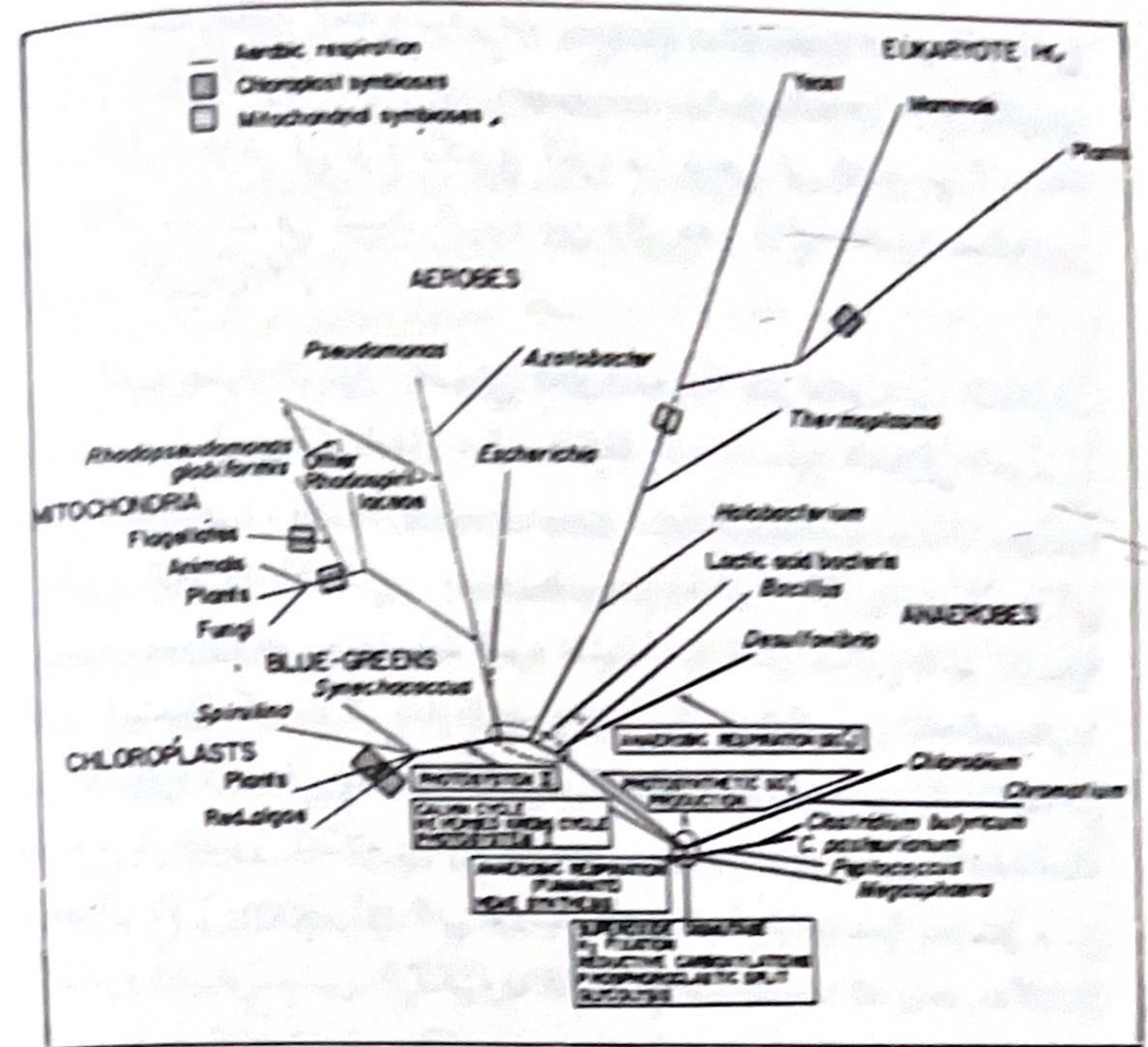
كما أن تثبيت النيتروجين ايضا من العمليات التي تتواجد في أنواع عديدة من الكلوستريديوم وايضا في بكتيرة الكبريت الاخضر كلوروبيوم (chlorobium)، وفي أغلب انواع البكتيريا المختزلة للكبريت من صنف ديسالفوفيبريو (Desulfovibrio) . تتطلب عملية اختزال النيتروجين الى امونيا اربع جزيئات من ثلاثي فوسفات الادنوسين (ATP) لكل زوج من الالكترون، وست الكترونات من نازع او مختزل Reductant منخفض الطاقة مثل الفريدوكسين . تحمل الالكترونة (electron) بروتينة حديد (Fe-protein) وبروتينة موليبدنوم حديد (MoFe-protein) لا صلة لهما بالفريدوكسين وانما



يتضمنان ايضا عناقيد الحديد-كبريت (iron-sulfur clusters) . وفي العديد من الحالات يمكن لمكون نيتروجناز (nitrogenase component) من نوع بكتيري تكملة المكون الآخر في نوع بكتيري آخر، مما يوحي الى انه قد تم الاحتفاظ بوظيفة البروتينات في تثبيت النيتروجين وان هذه الآلية خاصية بدائية بين العمليات الحياتية[٢].

كانت عملية التمثيل الضوئي اللاوكسجينية متواجدة لدى المتعضيات الاولية بزمن طويل قبل ظهور عملية تفكيك الماء بالتحفيز الضوئي المحررة للاوكسجين (oxygen-liberating photocatalytic dissociation of water) وبكتيريا الكبريت الاخضر (chlorobiaceae) وبكتيريا الكبريت الارجواني (chromatiaceae) هي متعضيات ضوء تمثيلية من اصل سلالي قديم للغاية تقوم باستعمال كبريت كبريتيد الهيدروجين بدلا من اوكسجين الماء كمصدرها من الالكترونات. في بكتيرة الكبريت الاخضر (chlorobium) يتم امتصاص الضوء باليخضور البكتيري (bacteriochlorophyll) الذي يجري استخدامه لاختزال ناد (NAD، أي ثاني نووتيد ادنين النيكوتيناميد) بسيل من الالكترونات من متقبل الالكترون الابتدائي عبر الفريدوكسين وريدكتاز (reductase) الناد، ثم يقوم الكبريت بامداد اليخضور البكتيري بالالكترونات مرة أخرى بواسطة سلسلة سيتوكرومية . أما بكتير الكبريت الارجواني، من جهة أخرى، فتقوم بتوليد الأتب (ATP) من جهاز نقل الالكترون دائري (cyclic) يقوم بدوره بتمرير الالكترون من المتقبل الابتدائي الى اليوبكوينون (ubiquinone) وسياق من السيتوكرومات عودة الى اليخضور البكتيري. تسمى عملية التمثيل الضوئي هذه بالجهاز الضوئي واحد (photosystem I) ، وتشمل أجهزة النقل الالكتروني الدائرية، واللادائرية (noncyclic) ، والعكسية (reverse) وجميع المبتكرات الاولية ، ويفترض ان المتعضيات من هذا الصنف نشأت بعد الكلوستريديا بقليل.





الشكل ١/١٢ ـ شجرة السلالات التطورية البروكاريوت واليوكاريوت مبنية على سياقات الفريدوكسين والسيتوكرومتسي.

وبينما تقوم بكتيريا الكبريت الاخضر والارجواني بانتاج الكبريتات باستخراج الالكترونات من الكبريت تستمد اللاكبريتية الارتجاجية (Desulfovibrio) باختزال الكبريتات ٠ تحتفظ هذه البكتيريا بالعديد من الخواص للسلالة اللاهوائية مثل الكلوستريديا ولكنها في الحقيقة فريدة في الطريقة التي تختزل بها الكبريتات ٠ تشتمل العملية على خماسي فوسفوكبريتات

الآدنوسين (adenosine 5-phosphosulfate) وبروتينة حاملة نوعية تسمى السيتوكرومتسي. وعليه فقد اقترح ان اللاكبريتية الارتجاجية نشأت بعد البكتيريا الضوء تمثيلية المنتجة للكبريتات[٣]. قام مانفريد شيدلوفسكي (Manfred Schidlowski) من معهد ماكس بلانك بألمانيا الغربية باستحصال بيانات نظائرية (isotopic) حول عينات من درع الدان (Aldan Shield) بسيبريا والتشكيلات الحديدية المخططة أو الطبقية من كندا توحي بأن مختزلات الكبريتات ظهرت بين ما قبل الفين وثمانمائة (٢٨٠٠) مليون وثلاثة آلاف (٣٠٠٠) مليون سنة خلت[٤].

بعد ذلك بزمن وقبل الفي (٢٠٠٠) مليون سنة ظهرت الطحالب الخضرزرقاوية من سلالة لا هوائية تستخدم الماء كمورد الكترونات لعملية النزع الضوئي (photodissimilation) لثاني اوكسيد الكربون ٠ تستخدم طريقة التمثيل الضوئي المطلقة للاوكسجين هذه اليخضور أ (cholophyll a) وبروتينات الصفرعشبية (phycobiliproteins) كأخضبة مصاصة للضوء، وعلى نقيض البكتيريا الضوء تمثيلية الاخرى التي تستخدم NADH كعامل مختزل لثاني اوكسيد الكربون، تستخدم الطحالب الخضرزرقاوية NADPH والاهمية الهائلة لظهور الطحالب الخضرزرقاوية في النشأة هي انها اطلقت الاوكسجين السائب في البيئة (environment) الى أن في الاخير غيرت الصفات الكيميائية للبحار والجو وخلقت الاحوال المؤكسجة للتنفس الهوائي.

حمل التكييف الاضطراري لتواجد الاوكسجين المتعضيات على تنمية جهاز نقل الكتروني ينتهي بالاوكسجين، وتبين شجرة التطور السلالي أن ثلاث مجموعات من اللاهوائيات الاختيارية (تعيش في الهواء واللاهواء) هي القصبة او القويصبة (bacillus) وبكتيريا حامض اللبنيك، والاشرشياكولي (Escherishia E. coli=coli) تشعبت من العرقة او الارومة (trunk) في حوالي نفس أوان ظهور الطحالب الخضرزرقاوية بالتكيف لتواجد الاوكسجين ٠ وفي

هذا التكيف نمت القويصبات جهاز نقل الكتروني قائم على السيتـوكروم، بينما طورت بكتيريا حامض اللبنيك جهازا ينتهي بالفلافين flavin = واحد من مجموعة اصباغ صفراء تقع في بعض المنتوجات النباتية او الحيوانية أو تنتج اصطناعيا). أما الايشريشيا كولي، من جهة أخـرى، فتملك سلكين لنقـل الالكترون ينتهيان بالاوكسجين ويعتمدان على مستوى توتر الاوكسجين . وفي أحوال عالية التشبع بالهواء ينتهي المسلك في السيتوكرومةسي، انما في التوترات او الضغوط الاوطأ ينتهي في السيتوكرومة او «دي». وتوحي هذه الوقائع للمكونات النهائية اللامنتسبـة للتنفس الهـوائي بأن التكيف للاوكسجين نشأ على حدة مستقلا في مناسبات عديدة منفصلة.

وما أن ترسخ التنفس الهوائي ودورة كربس (Krebs cycle) للفلكلة الكلية في عرقة السلالة البروكاريوتية ، حتى أدت الزيادة الكبرى في الطاقة المتوفرة الى ظهور الخلية اليوكاريوتية الأكبر حجما والاكثر تعقيداء تتطلب عملية الانقسام الفتيلي والتمثيل الحيوي (biosynthesis) للمركبات الستيرويدية مجموعة من المركبات تشمل الستيرول sterols ، والحوامض الصفراوية ، والهرمونات الجنسية المتميزة ببنية حلقة الذرة الكاربونية للاستيرول . sterol = مجموعة من الكحول اللامشبعة الدائرية الصلبة الكوليسترول ، تتواجد في الانسجة النباتية والحيوانية)، والحـوامض الدهنيـة البولي غير مشبعـة (polyunsaturated) ، وغيرها من المواد المنفردة باليوكاريوت ، تتطلب كلها الاوكسجين الجزيئي، ونشأت هذه القدرات البيوكيميائية مع تغير البيئة.

وتفيد دايهوف وزملاؤها[٥] ان الفرع اليوكاريوتي صـدر من الجزء الوسط من الشجرة السلالية التطورية مع نوعين بكتيريين هما البكتيريـا الملحية (Halobacterium salinarium) والمستوعبـة الحـرارة والحـوامض (Thermoplasma acidophilum) المنبثقة من السلالة المضيفة . وهذه النظريـة



مدعمة بتشابه جهاز تمثيل البروتين في البكتيريا الملحية بجهاز اليوكاريوت، وان المستوعبة للحرارة تنقصها الجدران الخلوية انما تملك بروتينات هيستونية او شبه نسيجية لوقاية الدنأ فيها، وتتضمن بروتين شبـه اكتيني (actin = نوع من البروتين في العضل) وتستخدم اوكسيداز الفلافين (flavin oxidases) لمؤايضـة اوكسجينهـا . غير ان هـذا التفسير ليس مقبولا لـدى جميع البيولوجيين[٦]. اذ، يعتقد كارل ووزه[٧] من جامعة الينوي ان هذه الانواع اللاعادية أقدم بكثير وتمثل نوعا ثالثا من الحيـاة ازدهر حين كانت الارض مختلفة كل الاختلاف عما هي عليه اليوم.

استخدم ووزه التسييق الجزيئي ايضا لرسم السلالة التاريخية للبكتيريا ولكنه بنى نتائجه كليا على مقارنة رنأ ريبوسومي نوعي. تتألف الريبوسوم من جزيئات الرنأ مضفورة بالبروتين ، ونموذجيا تضم الخلية البكتيريـة ما بين عشرة الى عشرين (١٠ــ٢٠) الف ريبوسومة . ولأن الرنأ الريبوسومية بقيت دائمة الوظيفة طوال تواجد الحياة فان تنفا من الجزيئات تغيرت في غـاية البطء على مر الدهور وبما يجعل غير محتمل أن يكون السياق السلف المشترك قد اندثر كليا. لا توجد نسخ طبق الاصل لأن التبـدلات الطفرة قد غيرت السياق الاصلي انما لابد انه يوجد باقيا في هذه الجزيئات الضخمة آثار للرنأ الريبوسومية الاصلية وجينتها والتي ظلت عائشة عبر الزمن النشوئي. توجد ثلاث رنأ ريبوسومية موسومة 23S، 16S، 5S في وتيرة ترسبها في جهاز النبذ المركزي الفائق السرعة ultracentrifuge ملاحظة: يشير حرف S الى عبارة سفيدبرغ وهي مقياس لوتيرة الترسب في جهـاز النبذ المركزي الفائق السرعة ، ومقياس غير مباشر للوزن الجزيئي) أما اعداد هذه الرنأ من النوتيدات فهي على التوالي (٢٩٠٠)، (١٥٤٠)، و(١٢٠) انما من حيث



التميز الخصائصي ليست الرنأ الـريبوسومية الصغيرة 5S مؤشرا دقيقا للنسابة السلالية بقدر ما هو شأن الرنأ الأطول، وبما ان الرنأ الريبوسومية (23S) تبدي أحيانا فوارق شاذة في السياق من نوع الى آخر، فقد اتخذت الرنأ الريبوسومية (16S) كالنموذج الخصائصي •

عندما بدأ ووزه بتقصي الانساب البكتيرية في عام ١٩٦٩ بمقارنة سياقات الرنأ الريبوسومية (16S) لم تكن التكنولوجيا المطلوبة لتحديد سياق النووتيد في الجزيئة برمتها ممكنة تكنيكيا مثلما هي اليوم• غير انه كان من الممكن تسييق شدفا قصيرة، أو نووتيدات (انصح التعبير• "olignucleotides" اشتمل الاسلوب على وشم الرنأ الريبوسومية (16S) من نوع معين بالفوسفور المشع ٣٢• واستخدام الانزيمة ريبونوواز (ribonuclease) لهضم الجزيئة • بعد ذلك جرى تكسير الهضيم (digest) بالتقطير التفاصلي الى النووتيدات (oligonucleotides) بطريقة التشريد الكهربائي الورقي الثنائي البعد (two-dimensional paper electrophoresis) ثم جرى تسييق كل نووتيدة ، وأسفرت العملية عن جدول تفصيلي كبير لسياقات المتعضية ، كانت مقارنة جداول من متعضيات مختلفة مماثلا لمقارنة سياقات رنأ الريبوسومية (16S) فيها، ويمكن استخدامها في رسم الانساب السلالية التاريخية[٨].

يؤدي هضم الرنأ الريبوسومية (16S) بالريبونوواز (T1) (T1 ribonuclease) الى تكسر الجزيئة الى عدد من الشدف مع بعض منها بطول (١٥–٢٠) فضلة• تضمنت النووتيدات البالغ طولها (٦) وحدات أو أكثر ما بين (٥٠٠–٦٠٠) فضلة، او خمسا وثلاثين بالمائة (٣٥٪) من مجموع (١٥٤٠) نووتيدة في الجزيئة• تقريبا دائما ظهرت الاوليغومرات -oligo= قليل، صغير، ناقص) المتضمنة لأكثر من خمس نووتيدات مرة واحدة فقط كسياق في جزيئة رنأ ريبوسومية (16S)• وعليه، كلما تضمنت الرنأ الريبوسومية 16S •المأخوذة من متعضيات



مختلفة نفس السياق السداسي الوحدة ، كانت احتمالية كونها شبيهة صادقة تقريبا مؤكدة•

قامت جماعة من جامعة الينوي بجرد خصائص الرنأ الريبوسومية مما يقرب من مائتي (٢٠٠) نوع من البكتيريا واليوكاريوت • وفي اثناء عزل البكتيريا بالتعاون مع رالف وولف (Ralph S. Wolfe) من قسم الميكروبيولوجيا ظهرت علاقة غير متوقعة • اذ لم تقع الميثانوجين ، وهي المتعضيات التي تعيش في بيئات خالية من الاوكسجين وتولد الميثان باختزال ثاني اوكسيد الكربون، لم تقع في المجموعة السلالية مع البكتيريا• كانت هذه نتيجة غير متوقعة • فالميثانوجين تبدو كالبكتيريا في مظهرها وقد اعتبرت دائما كأفراد في تلك المجموعة ، لأنها من نفس الحجم ولا تملك غشاءً نوويا، والدنأ فيها صغير مثل نظيره في البكتيريا ، مع ذلك، ابانت مقارنة الرنأ الريبوسومية ان الميثانوجين لا تمت الى البكتيريا بصلة اوثق منها الى اليوكاريوت•

وأعطى المزيد من التحليلات نفس النتيجة بالنسبة الى صنفين آخرين من المتعضيات هما الملحيات المتطرفة (extreme halophiles) ومستوعبات او محبات الحوامض والحرارة (thermoacidophiles) • والملحيات المتطرفة هي البكتيريا تتطلب تركيزات عالية من الملح وتنمو بسرعة في الاجاج المشبع ، وتتواجد على تخوم البحار وفي بحيرة الملح العظمى والبحر الميت ، وتضفي لونا احمر على احواض تبخير الملح وهي المسؤولة عندما يفسد السمك المملح•

اما الحامض حراريات ، من جهة أخرى، فهي شهيرة بتحملها لدرجات الحرارة العالية والاحوال الشديدة الحموضة • وهناك جنس منها هو الكبريتي الفص (sulfolobus) يتواجد في الينابيع الكبريتية الحارة حيث ترتفع الحرارة فوق تسعين (٩٠°) مئوية وينخفض (يدس = PH) دون (٢)• وقد تم العثور على جنس آخر منها هو الثرموبلازما (Thermoplasma) في الاكوام المضطرمة



من نفايات الفحم.

ينبغي أن تنعكس الفوارق السلالية بين هذه المتعضيات والبكتيريا النموذجية في الفوارق البيوكيميائية، وقد وجد أن هذا هو الواقع. من السمات العامة للبكتيريا هو جدارها الخلوي، وهذا يتضمن مشتقا للسكر هو حامض الميوراميك (muramic acid) وهذا هو وحدة قاعدية لبوليمر معقد يسمى بالهضميتيدوغليكان (peptidoglycan) كان معلوما ان اصناف الملحيات والحامض حراريات مستثناة من التعميم، لكن ذلك لربما كان مجرد نزعة مزاجية. فعندما أجريت مقارنة أسلوبية تبين ان جميع الاصناف الثلاثة هذه، وهي الميثانوجين، والملحيات، والحامض حراريات، لا تتضمن الجدار الخلوي من صنف الميورين (murein) البكتيري النموذجي. انما بدلا من ذلك وجد أن الاصناف الثلاثة تضم عددا من انواع الجدار مختلفة للغاية. فبعضها يتضمن جدران ميورين كاذبة (pseudomurein) الشبيهة بالجدران البكتيرية النموذجية الا انها لا تحتوي على حامض الميوراميك[٩]، وبعضها له جدران مصنوعة من وحدات البروتين الفرعية[١٠] (protein submits)، وبعضها جدرانها مصنوعة من البولي سكاريد[١١] (poly saccharides)، وبعضها، وهي الميكوبلازما (mycoplasma) لا تملك أية جدران على الاطلاق[١٢].

وعند تحليل الاغشية الخلوية للمجموعة وجد أن مركباتها الدهنية (lipids) كانت مختلفة بوجه بارز. تتألف المركبات الدهنية لكل من البكتيريا واليوكاريوت من حوامض أمينية مستقيمة السلاسل مربوطة بجزيئة الغليسرول (glycerol) من خلال الرابط الايستري (ester linkage-co-o-). كما ان المركبات الدهنية للاصناف الثلاثة المذكورة هي ايضا غليسريدية (glycerides) ولكنها تختلف باحتوائها على سلسلتين من الهيدروكربون طويلتين مربوطتين بالغليسرول برابط أثيري (ether linkage-O-). أي، بعبارة أخرى، ان المركبات

الدهنية، بدلا من كونها حوامض دهنية ثنائية الايستر (diester)، هي ثنائية الأثير (diethers) تتألف من الغليسرول وجزيئتين من الكحول فيتانول[١٣] (phytanol).

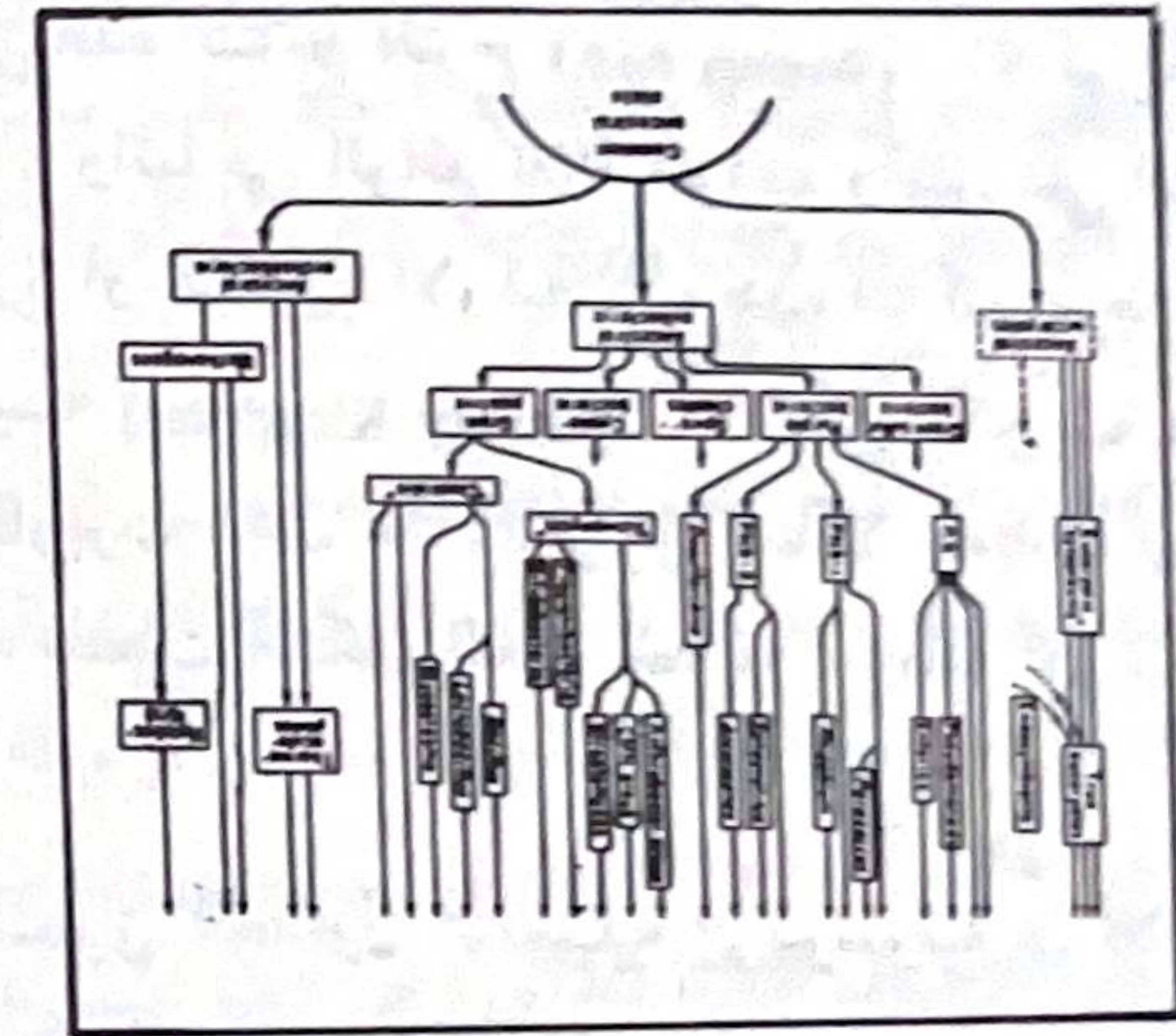
تختلف هذه المجموعة الصغيرة من المتعضيات الشاذة عن اشكال الحياة بميزة واضحة اضافية أخرى. تضم عملية تمثيل البروتينات فى جميع المتعضيات مسلسلا قاعديا من جزيئات الرنأ الناقلة التي تحمل حوامض امينية معينة الى الرنأ الرسول لالحاقها بسلسلة الهضميتيد، وفي جميع المتعضيات تضم الرنأ الناقلة قاعدة من اليوراسيل (uracil) ميثلة (methylated) لتشكل الثايمين، ما عدا في الميثانوجين والملحيات المتطرفة والحامض حراريات. ففي هذه المتعضيات الثلاث لم يجر تحويل اليوراسيل الى ثايمين، انما قد تم تحويره لتشكيل اما يوريدين كاذب (pseudouridine) أو الى نووتيدة أخرى لا تزال لم يتم تشخيصها[١٤].

وأستنادا الى هذه النتائج اقترح ووزه (Woese) انه لم يكن يوجد نوعان من الحياة، وانما في الواقع ثلاثة انواع، وأطلق على النوع الثالث اسم الاركي بكتيريا أو البكتيريا الاركية[١٥]. اذن، اذا كان يوجد في الحقيقة ثلاث ممالك اولية (primary Kingdoms)، الاركي بكتيريا، والبكتيريا الحقيقية، واليوكاريوت، فان هذا الامر يثير تساؤلا جديدا، وهو: في اية مرحلة من النشوء تشعبت أشكال الحياة المختلفة، وماذا كان سلفها الاصلي المشترك؟

يبدو في منطوق الجداول التفصيلية الريبوسومية ان الاركي بكتيريا والبكتيريا الحقيقية واليوكاريوت تقع على ابعاد متساوية عن بعضها في الزمن النشوئي. وبدلا من ظهور اليوكاريوت عن اتحاد لليوكاريوت يبدو من الممكن أن ربما الاركي بكتيريا ايضا شاركت في الخلق التعايشي الضمني أو الباطني.

يوجد على الاقل جينة سيتوبلازمية يوكاريوتية واحدة تختلف عن الاخريات. على ما يظهر أن النواة اليوكاريوتية تتضمن ثلاثة انواع من الجينات، التي لربما هي من المادة الجينية للخلية المضيفة ومن الجينات المستملكة من جنومات الاورغانيلات . غير انه قد وجد الجينة في البروتينأ (A) الريبوسومي ليست من أصل بروكاريوتي وانما من أصل اركي بكتيري(١٦).

عند استثناء الاركي بكتيريا، تضم البكتيريا كشعب (class)، بالرغم من تنوعها الظاهر، نسابة سلالية وثيقة . توجد ثمانية تقسيمات بكتيرية كبرى يبدو انها قد تشعبت من بعضها البعض خلال فترة من الزمن قصيرة نسبيا بحيث انه يصعب معها التثبت من ترتيب تعاقبها بالضبط. مع ذلك، فهي جميعها تضم نفس الصنف من جدار الخلية، واليتها لتمثيل البروتين قياسية تماما للبروكاريوت واليوكاريوت على حد سواء.



الشكل ٢/١٢ ـ مخطط بياني يوضح المنحدرات السلالية الكبرى للبروكاريوت

أما بالنسبة الى الاركي بكتيريا، من جهة أخرى، فانه بالرغم من ضآلة العدد المعروف منها، تشير المقايسات السلالية العميقة واحصاءات الخصائص الصنفية الى انها تشمل تنويعة لا تقل عن نظيرتها في البكتيريا وحتى أعظم منها. توجد في الاقل اربعة اصناف جدارية كبرى في الاركي بكتيريا وذلك مقابل الصنف الوحيد الموجود بين البكتيريا، وبينما يتألف بوليمراز الرنأ في البكتيريا من بنية ذات وحدات فرعية ثابتة، فان بنية البوليمراز (polymerase) في الاركي بكتيريا مختلفة(١٧). وهذا ربما يعني ان الزمن الذي تم فيه الانفصال بين الاركي بكتيريا والبكتيريا من سلف مشترك يطعن في العتاقة بحيث انه حتى وظيفة بوليمراز الرنأ كانت لا تزال في مرحلة التطوير والتهذيب.

ان الاركي بكتيريا مرموقة بتطرف البقع البيئية التي تقطنها (environmental niches) . توجد الميثانوجين منتشرة على نطاق واسع ولكنها لا يعثر عليها اعتياديا لأن الاوكسجين يقتلها، وتلازم فقط الاماكن التي يكثر فيها ثاني اوكسيد الكربون والهيدروجين، ومعنى هذا انها تتواجد في تعاشر وثيق مع البكتيريا الاخرى التي تنتج هذين الغازين مثل الكلوستريديا التي تقوم بمؤايضة المواد العضوية المتفسخة وتطلق الهيدروجين كناتج تلف. وعليه فأن الميثانوجين تتواجد في رواسب المستنقعات السبخة والجداول والبحيرات الغنية بالنباتات المتفسخة حيث تقوم بأنتاج ما يسمى «بالغازات المستنقعية الملحية أو التصاعدات الاجامية» كما تتواجد ايضا في المسالك المعوية للحيوانات في العموم وفي كروش السدائم والمجترات الاخرى. ويمكن عزلها من قيعان البحار والينابيع الحارة.

تعيش الملحيات المتطرفة في أحوال قاسية فوق العادة لا تطيقها معظم المتعضيات الأخرى . فهي تزدهر فقط في التركيزات الملحية العالية حيث تضطر الى استدامة مدرج تركيز كبير عبر غشاء خليتها لمنع المستوى

الايوني الباطني فيها من التجاوز ولنقل المواد الى الخلية وافرازها منها. تملك الملحيـات المتطرفة آلية التمثيل الضوئي بسيطة نسبياً وليست مبنيـة على اليخضور وانما على صبغة مغطاة بالغشاء تسمى بالرودوبسـن البكتيري.

Rhodopsin = صبغة بروتينية ارجوانية توجد في عصيات الشبكية تتحول بفعل الضوء وضرورية للرؤية في الاضاءة الضعيفة).

والحامض حراريات ايضا تضطر الى استدامة مدرج واسع عبر غشاء خليتها، ولكنه مدرج (يدس PH:)للحفاظ على (يدس) محايد تقريبا في باطن الخلية اثناء عيشها في سوائل شديدة الحموضة. يتوقف هذا المدرج على درجات الحرارة العالية في ينابيع الكبريت حيث تعيش ، وعند وضع الكبريتية الفص أو السلوفولوباس (sulfolobus) في درجة حرارة اوطأتتوقف عمليتها التآيضية عن الاشتغال، مما يؤدي الى عجزها عن الحفاظ علىحياديتها الباطنية ، وفي النهاية تموت.

تنتمي الاركي بكتيريا الى «شعب» أو أمـة من المتعضيات تعيش في احوال قاسية جدا ومحالة بالنسبة الى اشكال الحياة الاخـرى، وتعتبر في العموم بأنها تمثل امتدادا للعالم الحي الى هوامش المنطقة الحياتية عنطريق التكيف. غير أن الجواب هو ربما أنها لاجئة من عالم متغير كانت في زمن ما سائدة فيه . أما ووزه(Woese) فيحاجج ان التآيض وآلية السيطرةاللاعادين في الاركي بكتيريا ربما يعكسان الاحوال التي كانت سائدة زمنا حين كانت الحياة تظهر لأول مرة على أرض شابة[١٨].



الفصل الثالث عشر ـ الطاقويات

كلنا لنا سلالة اسلاف تمتد في خط متواصل يصل الى ما قبل ثلاثـة آلاف واربعمائة (٣٤٠٠) مليون سنة خلت. فقد كان في لحظة ما في ذلك الماضي البعيد الى حد اللامعقول أن تجمعت المواد معا على الارض البدائية لتشكل كيانا ملك القدرة على امتصاص الطاقة واستخدامها للنمو وتركيب وحدات متزايدة التعقيد أبداً. وعلى نقيض عالم الجماد الذي يمتص الطاقة لمجرد أن يزداد اختلالا ، ملكت المنظومات البيولوجية التي تكونت القدرة على توجيه الطاقة الى التنظيم والاتساع المتزايدين . وهذه القدرة التيورثها من الخلايا الحية الاولى تشكل الصفة المميزة لجميع الكائنات الحية.

تقوم الخلية البيولوجية بتمثيـل مقوماتهـا العضويـة (constituents) بمسلسل من التفاعلات البيوكيميائية تحفزها الانزيمات. أما كيف امتلكت الانزيمة على هذه القوى التحفيزية الباهرة فقد بقي سرا دفينا طوال عقود عديدة، انما لازم هذا السر مشكلة أكثر أهمية وخطورة . فالمنظومةالبيولوجية تقوم بتمثيل مكوناتها ببناء جزيئات معقدة من مواد كيماوية بسيطة ، وتنمو وتتكاثر ، وتنتج ليس صنفا واحدا او اثنين من البيوكيميائيات، وانما حرفيا بالآلاف ، كلها مشتبكة على نحو منتظم للغاية . وهذه جميعها وظائف تحتاج الى طاقة. وبالنتيجة فأن الحياة تخلق النظام من الفوضى.

أقرت المفاهيم الاساسية للطاقة في السنـوات الاربعينية من القـرن التاسع عشر، وذلك بزمن طويل قبل تفهم طرائق العمليـات الحياتية . ان القانون الاول في الحركية أو الدينامية الحرارية (thermodynamics) يقربتباقي الطاقة، وبالمبدأ القائل بعدم امكانية اقتناء أو فقدان الطاقة ولا المادة ضمن منظومة مغلقة . ويتناول القانون وصف كيفية تدفق الطاقة السائبةأوالطليقة،



بصيغة ($\triangle G$ او ديلتا جي) ضمن المنظومة والكون ، والنسق المنتظم على حد سواء، أي الطاقة الكامنة اللامتاحة او الانتروبيا (entropy) ٠ تتدفق الطاقة من مناطق التركيزات العالية منها الى المناطق حيث تكون تركيزاتها منخفضة، ومثل الماء، تنزع الطاقة الى الاستواء، كما يشهد على ذلك انسياب الحرارة من الاشياء الحارة الى الأخرى الباردة ٠

ينطبق هذا الاتجاه لتدفق الطاقة على جميع أحوال الطاقة الباطنية ٠ فالنظام المستحدث بأنشاء ناطحات سحاب أو جزيئات معقدة من توزيع أقل انتظاماً للمادة يمثل تأثيلا أو استثمارا للطاقة، انما يتعذر الحفاظ باستمرار لا محدود على تركيزات من الطاقة في نظام يقع فوق المستوى العام بدون مواصلة ضخ الطاقة فيه لصد التيار نحو التوازن٠

وعليه ، فان كل عملية لتركيز الطاقة بهدف بناء نظام يعمل ضد تيار الطاقة ٠ مع ذلك، هذا هو تماما ما تفعله المنظومات البيولوجية ٠ ولرؤية كيفية امكانية هذا بوسعنا أن نعتبر المنظومة البيولوجية بمثابة ظاهرة منحصرة محليا، اي في مكان تواجدها فقط، يمكن فهمها على افضل وجه بمقارنة سلوكها بالسلوك المماثل للماء ٠ فبالرغم من ان الماء ينزع الى البحث عن مستوى، توجد أمواج ترتفع فوق المستوى الى وضع غير مستقر على حساب الجوف الحاصل بينها والمنحدر نحو الاسفل٠ وهكذا ايضا تنزع عشوائية الكون للديلولة الى مستوى مشترك للتوازن الحركي الحراري، لكن الامواج المنتظمة ترتفع فوق مستوى التوازن على حساب الطاقة في المواد الاخرى٠

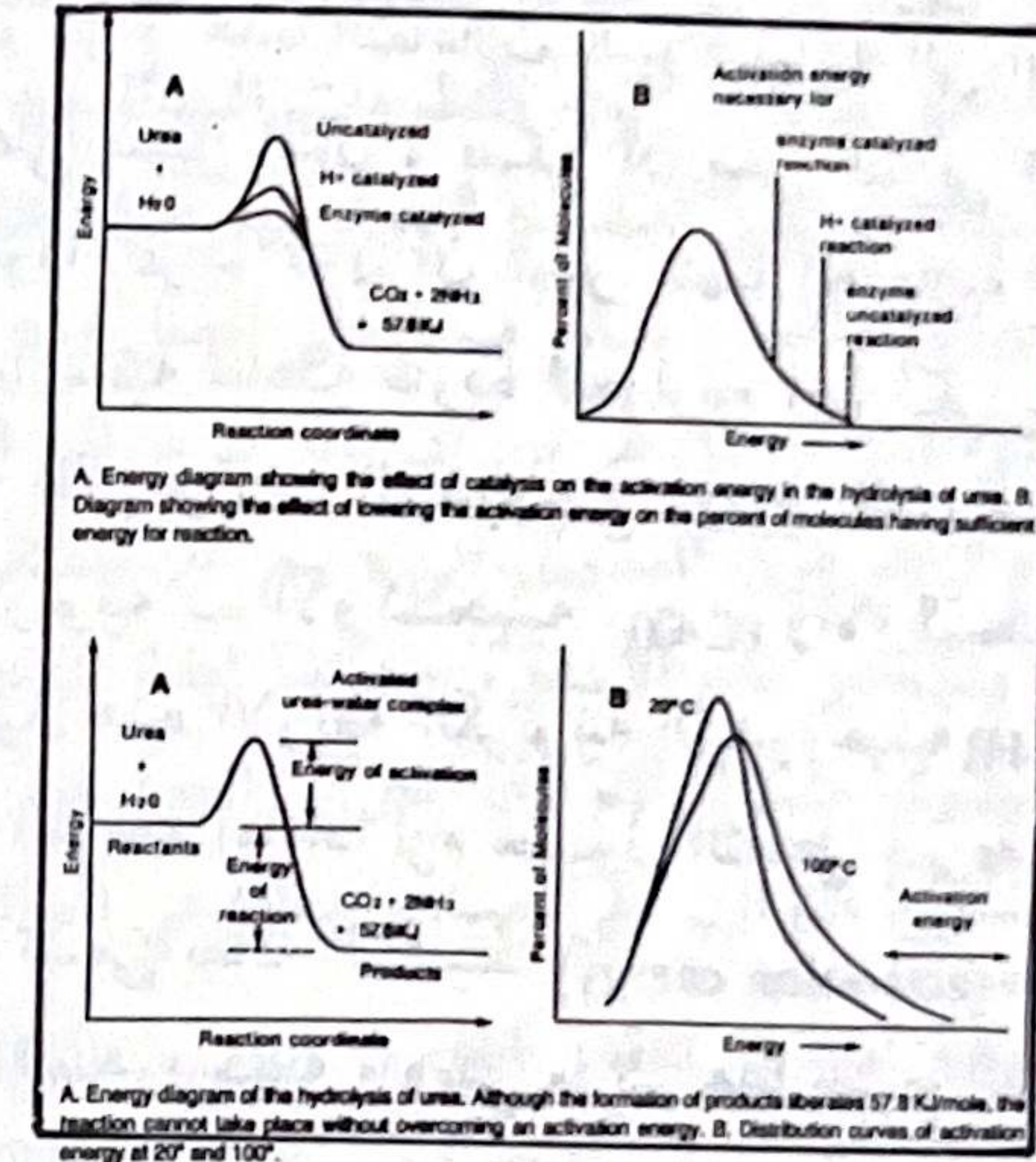
ان العملية الاجمالية لهذا لا تناقض القانون الثاني٠ فالنباتات، وهي الحواشد الابتدائية للطاقة الشمسية ، تمتص من الشمس طاقة أكثر مما تختزنه كطاقة كيميائية ، بحيث ان مجموع العملية ليس الا سلسلة منحدرة من الاحداث ٠ ثم تقوم الحيوانات باستهلاك النباتات لبناء مكوناتها، والطاقة

الكيميائية المختزنة في النباتات هي التي تقدم الطاقة الايضية للحيوانات٠

وبسبب حواجز الطاقة التي تحد من سير التفاعلات الكيميائية يوجد نطاق ضيق من درجات الحرارة تكون التضاريس الجزيئية الدائمة فيه نوعا ما معقدة٠ يمكن أن تتكون الجزيئات في أحوال من الطاقة العالية قصيرة الامد وتتجمد في البنى الكيميائية بطاقات كامنة، وبوسع بعض هذه الجزيئات أن تتفاعل كيميائيا لامتصاص الطاقة وتوجيهها لرفع الطاقة الباطنية في المكونات والبنية الخلوية الدقيقة المعقدة ٠ وهذه هي القاعدة الفيزيائية التي قامت الحياة عليها، مستخدمة طاقة الشمس لادامة ذاتها٠

جميع التفاعلات البيولوجية هي تفاعلات تلقائية ٠ ومعنى هذا هو ان التفاعلات تصاعدية من مستوى التوازن ومدفوعة طاقويا للتحرك نحو التوازن، رغم انها لا تبدي شيئا عن وتيرة التفاعلات ٠ فهي كالصخرة على ناحية الجبل، تنزع هذه التفاعلات البيوكيميائية الى الركود ما لم تنلها الدفعة ٠ وعلى سبيل المثال ، يمكن أن يبقى البنزين او السكر في الهواء زمنا لا محدودا تقريبا دون أن تبدر منهما أية علامة للاحتراق بالرغم من أن تأكسدهما عملية تفاعلية طاردة للحرارة٠ انما لكي يبدأ التفاعل يلزم أن تتقطع أربطة الكاربون ـ الهيدروجين (C-H) الضعيفة قبل أن تتكون الاربطة الكاربونية ـ الاوكسجينية (C-O) والاوكسجينية ـ الهيدروجينية الاقوى٠ تكون هذه الاربطة الكربونية الهيدروجينية (C-H) مستقرة تماما في درجة حرارة الغرفة٠ أما اذا لزم حصول التفاعل بسرعة فانه يتوجب تقديم طاقة كافية ، تسمى بطاقة التنشيط (activation energy) ، لاتاحة تقطيع الاربطة الكربونية ـ الهيدروجينية ٠ ومتى ما يتم هذا تصبح الطاقة الناتجة عن التفاعل كافية لامداد العملية بالوقود في تفاعل مسلسل٠

تملك التفاعلات التلقائية الطاقة الكامنة لاستمرارها تلقائيا، ولكنها تفعل ذلك فقط اذا أمكن اقتحام حاجز الطاقة المنشطة ، وتقوم الانزيمات بتخفيض هذا الحاجز بتكوين عقدة (complex) وسيطة وقتية مع العامل المتفاعل على اضعاف الرابط المكون للحاجز. وهذه القدرة لا تجعل من الانزيمات محفزات (catalysts) نوعية للغاية فقط، وانما تجعلها ايضا اكثر فعالية من التحفيز الحامضي أو القاعدي. وبفضل طاقات التنشيط الكائنة في التفاعلات الكيميائية الداخلة في الانشطة الخلوية ، تتمكن الانزيمات من ضبط العمليات الحياتية والتحكم بها بدقة صارمة . واذا لم تكن التفاعلات التلقائية تضم حواجزا للطاقة وكانت تبدأ فوريا ، لكانت الحياة مستحيلة .



الشكل ١/١٣ ــ رسوم بيانية توضح تفسخ اليوريا .

بالرغم من كل هذا ، ان النشاط الرئيس للمنظومات البيولوجية وأساس النمو والتكاثر هو تمثيل أو تصنيع الجزيئات المعقدة من مركبات صغيرة. وهذه التمثيلات ليست تفاعلات تلقائية، بل تحتاج الى امداد من الطاقة . وهي في الجانب الانحداري من التوازن ، والمنتوجات تتضمن طاقة أكثرمن المتفاعلات (reactants) . وعليه، فان هذه ليست التفاعلات التي تنطلق تلقائيا وبالنتيجة يتعذر تنفيقها بواسطة محفز. انما يخال للناظر المستطرق أن ذلك هو ما تفعله المنظومة البيولوجية تماما.

فكيف يمكن هذا، اذن؟

بدأت الطريقة التي تنجز بها الخلية التحويلات الكيميائية تبرز واضحة للدارسين خلال الفترة ما بين عامي ١٩٣٠ و١٩٤٠ حين تم اكتشاف التفاصيل الكيميائية الخاصة بالتجريد البيوكيميائي للغلوكوز . ادرك البيوكيميائيون أن لابد من وجود اسلوب تستخدمه الخلية في تقبل الطاقة الكيميائية وتحويلها من مركب الى آخر، وقد وجد ان العوامل البيوكيميائية التي تقوم بهذا الدور هي المركبان الفوسفاتيان ثلاثي فوسفات الادنوسين (ATP أتب) وثنائي ADP (أدب) (adenosine di-and tri-phosphate) .

في عام ١٩٤١ اورد فريتز لبمان[١] (Fritz Lipmann) فكرة الرابط الفوسفاتي العالي الطاقة ، ومعها بدأت الاوساط العلمية تفهم بوضوح دور هذه المركبات في البيوطاقويات (bioenergetics) . ان الاتب مركب ذو طاقة كامنة عالية، وعندما يفقد مجموعة فوسفاتية بالحلمأة لتكوين الأدبوالفوسفات اللاعضوي، ، يؤدي ذلك الى تحرير كمية من الطاقة كبيرة لحد ما . في الأحوال القياسية أو الامامية (standard) التي يكون فيها رقم يد٣ ٧ (معكوس درجة تركيز الهيدروجين في المحلول PH ودرجة الحرارة خمس وعشرون (٢٥°) مئوية ، يبلغ تغير الطاقة السائبة الامامي، ديلتا جي ΔG° ، في حلمأة الأتب

بمقدار ـ٥ر٣٠كج (30.5 Kj—) • (ملاحظة : في الواقع ، في الاحـوال الخلوية ، يشكل المغنيز ++(++Mg) عقـدات (complexes) متبـاينة الانتساب مع الأتب والأدب والفوسفات ، وهذا مع عوامل أخرى تؤثر على توازن التفاعل، ينزع الى رفع طاقة الحلمأة للأتب الى قيمة او رقم أعلى)•

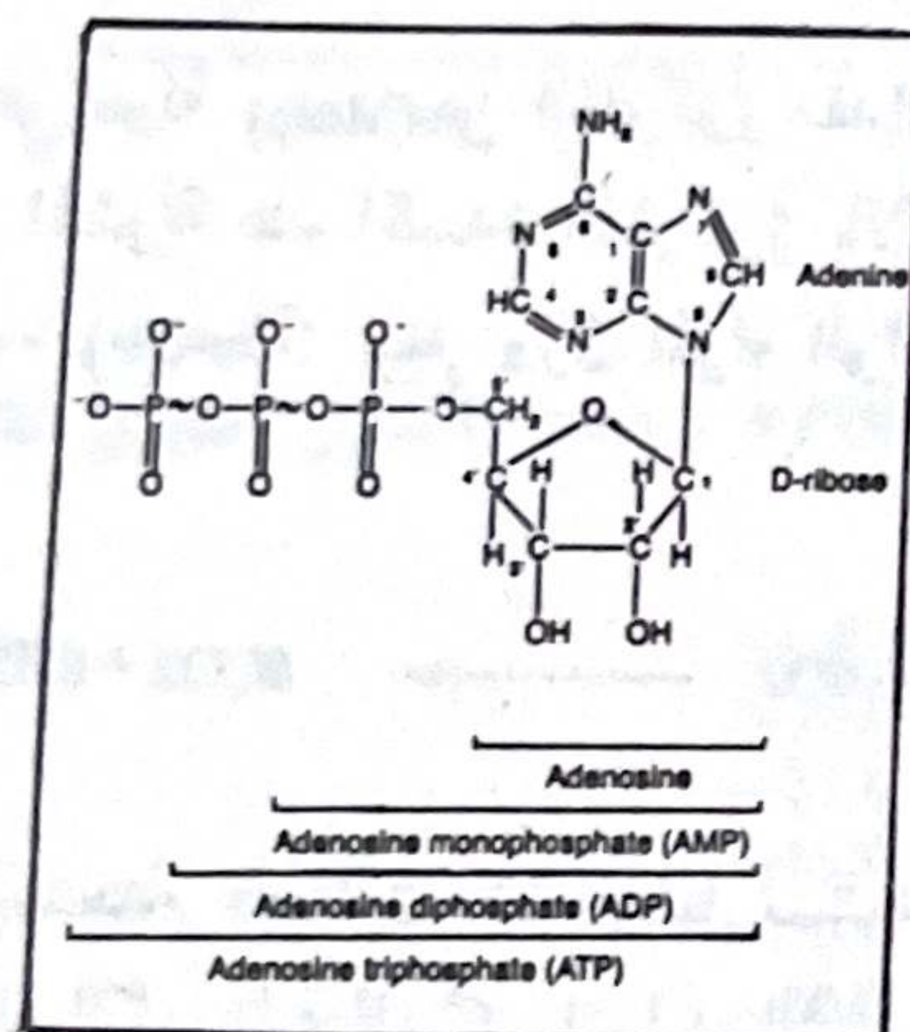


والطاقة السائبة المتغيرة بقدر DG هي الطاقة المحركة للتفاعل، مع بث الحرارة في المحيط بنفس الاثناء يكون رقم أو قيمة تغير الطاقة سالبة (-) عند تحرير الحرارة لأنها تمثل تنقيصا في محتوى الطاقة الكلي• وتبلغ معادلة اطلاق الطاقة △G=O (ديلتا جي=صفر) عند حلول المنظومة في ألتوازن في درجة حرارة وضغط ثابتين• يكون التفاعل التلقائي قيمة سالبة لتغير الطاقة السائبة، وكلما ارتفعت القيمة السالبة هذه كلما كانت قوة التفاعل الدافعة أعظم• (ملاحظة: تمثل جي G الرمز لتسارع الجاذبية ، وتشير ديلتا الى الترتيب الذري لعنصر ما بالنسبة الى ذرة كاربون معينة في المركب)•

لذلك، فاذا أرادت خلية انجاز عملية تمثيل يضم الناتج فيها مستوىمن الطاقة أعلى منه في المتفاعلات أو العوامل المتفاعلة، أي ان التفاعل تصاعدي، فان التفاعل هذا يتغير الى تفاعل تلقائي بتصنيع مشتق منشَّط من المتفاعل• يتم هذا بنقل فوسفاته الى المتفاعل من خلال عملية الفسفرة وبواسطة ثلاثي فوسفات الادنوسين (أتب)• ومن الامثلة على هذا، هي عملية البيوتمثيل أو التمثيل الحيوي (biosynthesis) للغلوتامين (glutamine) وهو حامضاميني مهم في البروتينات • تستلزم عملية تكوين رابـط اميدي (amide bond) مع حامض الغلوتاميك والامونيا طاقة قدرها (٢ر١٤)كج• من جهة أخرى، يمكن تحويل حامض الغلوتاميك الى انهايدريد مختلط بالتفاعل مع الأتبفي تفاعل تلقائي• فيكون هذا المشتق، فوسفاتالغلوتاميل (glutamyl phosphate)



الآن ذا مستوى طاقة أعلى من الغلوتامين بحيث أن التفاعل مع الامونيالتكوين الغلوتامين يصبح تفاعلا انحداريا ينطلق تلقائيا ، واجمالي حاصل تحويل حامض الغلوتاميك الى غلوتامين ذي طاقة أعلى باستخدام أتب ذي مستوى من الطاقة أعلى بدوره هو (٣ر١٦كج) صافية من الطاقة ، وهذه تكفي لدفـع التفاعل جيدا لانجاز الناتج•



الشكل ٢/١٣ ـ بنية مشتقات فوسفات الادنوسين

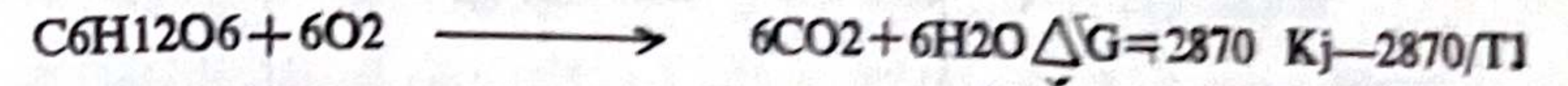
هذه هي الطريقة الاساسية التي تستخدمها الخليـة لتمثيـل الروابط الايسترية والهضميتيدية والغليكوسيدية (ester linkages, peptides bonds, glycosidic couplings) ، وجميعها تفاعلات حرارية باطنية تحتاج الى الطاقة • والطاقة الكيميائية في الرابط الفوسفاتي للأتب، التي تفوق الى حد كبير



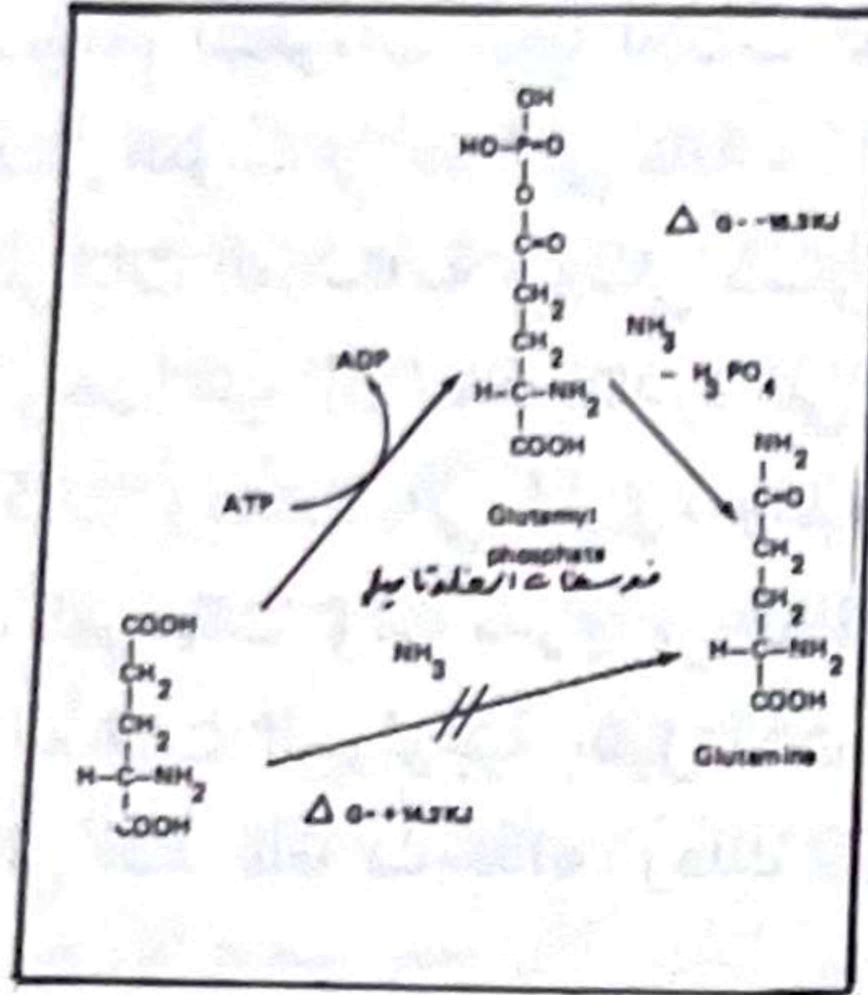
الطاقة المضافة الى المنتوجات ، هي مصدر الطاقة لجميع عمليات التمثيـل هـذه.

لكي تقوم الخلية بعملياتها التمثيلية العديدة ، تحتاج الى توليد الأتب باستمرار. تقوم النباتات بآلياتها الضوء تمثيلية بانتاج الأتب الخاص بها من خلال عملية معقدة مستخدمة طاقة ضوء الشمس الذي تمتصه والذي، بدوره، تستخدمه لاختزال ثاني اوكسيد الكربون الى كربوهيدرات بمثابة طاقة كيميائية مختزنة . كما ان النباتات تتضمن الميتوكوندريا ايضا وهـذه تعينها على توليد الأتب من خلال تجزئـة ، أي تحليل، احتياطيهـا من الكربوهيدرات.

تبلغ كمية الطاقة في مولة (Mole) من الغلوكوز مقدار (٢٨٧٠كج) وهي كمية الحرارة المطلقة او المبثوثة عند اكسدة الغلوكوز بالاوكسجين الى ثاني اوكسـيد الكربون والماء. (ملاحظة: يبلغ وزن المولة الواحدة من الغلوكوز (١٨٠) غراماً) .



والحيوانات التي تستخدم النباتات كطعام لها تستمد حاجتها من هذه الطاقة الكامنة في الاربطة الكيميائية للسكر لتوليد الأتب الخـاص بهـا ولاستخدام الحرارة للحفاظ على درجة حرارة ابدانها. وهي لا تحتاج الى جميع الطاقة المثبوتة كحرارة ، فتختزن قدر ما تستطيع في أربطة كيميـائية عالية الطاقة لمركبات كالأتب لاستخدامها في عملياتها التمثيلية.



حامض الغلوتاميك

الشكل ٣/١٣ ـ عملية التمثيل الحيوي للغلوتامين

Direction of phosphate transfer	G (KJ/mole)
Glycerol 3-phosphate	— 9.2
3-Phosphoglycerate	—10.0
Glucose -phosphate	—13.8
Fructose 6-phosphate	—15.9
Glucose 1-phosphate	—20.9
ATP	—30.5
Acetyl phosphate	—30.5
Phosphocreatine	—43.1
1,3-Diphosphoglycerate	—49.4
Phosphoenolpyruvate	—61.9

الجدول ١/١٣ ـ الطاقة السائبة الامام لعملية حلماة المركبات الفوسفاتية

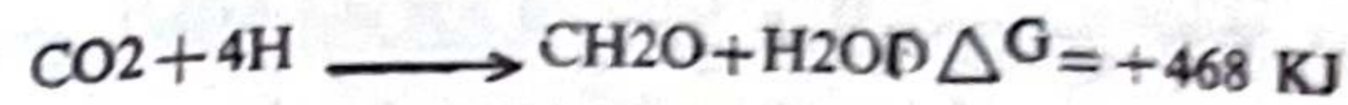
لا يعود سبب استخدام المنظومات الحية للأتب كعامل لنقل المجموعة الفوسفاتية الى كونه المشتق الفوسفاتي ذو أعلى طاقة ممكنة ، وانما لأنه يأتي في مستوى وسيط بين المركبات الفوسفاتية . ولكي يتمكن الأتب من العمل كعامل لنقل الفوسفات يتوجب عليه أن يملك القدرة على تقبل مجموعات الفوسفات من بعض المركبات ويسلمها الى أخرى. وعليه فان المتعضيات تملك مجموعة من مركبات الفوسفات تؤلف مدرجا من الطاقة السائبة. وعندما يجري توليد الأتب في العمليات البيولوجية يتقبل الأتب بنفس الوقت فوسفاته من مشتق فوسفاتي أشد طاقة منه بذاته، وذلك لكي يكون التفاعل تلقائيا.

ان المنظومة البيولوجية أكثر من تجميعة من المواد العضوية ، فهي آلة بوسعها أن تتناول الطاقة وتستخدمها لترقية الكيميائيات البسيطة الى ترتيبات أكثر تعقيدا . لذلك فان السر في نجاح اختلاق الحياة يتمثل بالاصل في التقاء والتئام المواد ما قبل الحياتية التي ملكت القدرة على التفاعل معا بتوافق لتسخير الطاقة المتوفرة في بيئتها . كانت جميع الطاقة ، والمستمدة أساسا من الشمس، متواجدة في شكلين اثنين. كانت متواجدة كطاقة كيميائية كامنة في بنية المواد العضوية الناتجة بفعل أشكال الطاقة المختلفة العاملة على الجو، وبشكل ضوء الشمس الذي كان يغمر سطح الارض في كل يوم. وفي النهاية أخذت المتعضيات تستخدم مصدري الطاقة كليهما.

من بين جميع العمليات البيولوجية التي عكف الكيميائيون على دراستها واستجلاء مكنونها قلما ظهرت عملية أكثر ادهاشا واعجابا أو كانت أكثر مقاومة ومراوغة للانفتاح والانكشاف من عملية التمثيل الضوئي. لقد امكن بالتخمير عزل جميع الانزيمات وغيرها من المكونات الداخلة في تجزئة الغلوكوز الى حامض البيروفيك، وتم اخراج كل خطوة مشفوعة بالمسلسلات الكاملة للتفاعلات ، في المختبر. أما بالنسبة الى عملية التمثيل الضوئي فقد كان الامر مختلفا. اذ، عند أخذ مستخرجات من خلايا النبات لغرض تجميع اليخضور وغيره من المكونات ، تفقد هذه المستخرجات قدرتها على القيام بعملية التمثيل الضوئي. وبرأي البيولوجيين، كان هذا بمثابة تحطيم ساعة ومعاينة قطعها للاطلاع على كيفية اشتغالها بدلا من مراقبة الآلة التامة برمتها.

لقد كرس قدر كبير من البحوث لدراسة عملية التمثيل الضوئي التي قد تحقق الآن تفهم الكثير منها. لما كان الضوء أحد اشكال الطاقة فقد قامت

النباتات ،بالنتيجة، بتنمية الوسائل البيوكيميائية اللازمة لالتفاف طاقة ضوء الشمس وتحويلها مباشرة الى طاقة كيميائية ، ونجحت في توجيهها لتمثيل ثلاثي فوسفات الادنوسين واختزال ثاني اوكسيد الكربون لانتاج الكربوهيدرات . ولاختزال ثاني أوكسيد الكربون الى مستوى اختزال السكر يتطلب ما مقداره +٤٦٨ كج/م من ثاني اوكسيد الكربون.



$$CO_2 + 4H \longrightarrow CH_2O + H_2OD \Delta G = +468\ KJ$$

يسير الضوء في موجات من الجسيمات تسمى بالفوتونات (photons) وبدلا من كون الطاقة متواصلة فانها تقع في عبوات أو رزم تسمى بالكمات quanta، مفردها كم: (quantum) وتتباين طاقة كل كم عكسيا مع طول الموجة الفوتونية (يرمز الى الموجة الفوتونية) هـذه بحرف (لا مبدا اليوناني). ومعنى هذا هو أن الطاقة في الكم تتضاءل مع ازدياد طول الموجة ، نزولا من ما فوق البنفسجية الى المرئية الى ما دون الحمراء . في التعبير الرياضي لكم من الضوء يرمز الحرف الصغير(٧) الى التردد أو الذبذبة (frequency) ، والحرف الصغيرh الى ثابت بلانك (planck's constant) ، والحرف الصغير (c) الى سرعة الضوء، والحرف الكبير (E) الى كم الضوء.

$$E = h\nu = hc/\lambda \qquad E \propto 1/\lambda$$

يستطيع الضوء الاحمر بموجته البالغ طولها (٠٫٦٨) ميكرومتر ان يذكي التمثيل الضوئي في النباتات الخضراء بكم ضوء يعادل (٩٫٢×١٠ $^{-١٢}$ ارغة=

= Erg. والارغة هي وحدة الشغل في النظام السنتمتري الغرامي centimetre-gramme system ، وتمثل الشغل الذي تنجزه داينة (تعريب داين dyne) واحدة على مسافة سنتمتر واحد . أما الداينة فهي وحدة القوة في نفس النظام، وهي القوة التي تحرك غراما واحدا لمسافة سنتمتر واحد بالثانية . ووزن الغرام الواحد يمثل قوة قدرها (٩٨٠) (داينة). وعند تحويل طاقة قدرها (٩٫٢×١٠ $^{-١٢}$) الى وحدات من التفاعلات الكيميائية فانها تناهز ما يعادل (١٦٧كج/م). وهذا يعني ان اختزال مولة واحدة من ثاني أوكسيد الكربون يتطلب على الاقل ثلاثة (٣) كمات من الضوء، انما تطبيقيا يبدو انها تستلزم حوالي عشرة (١٠)كم.

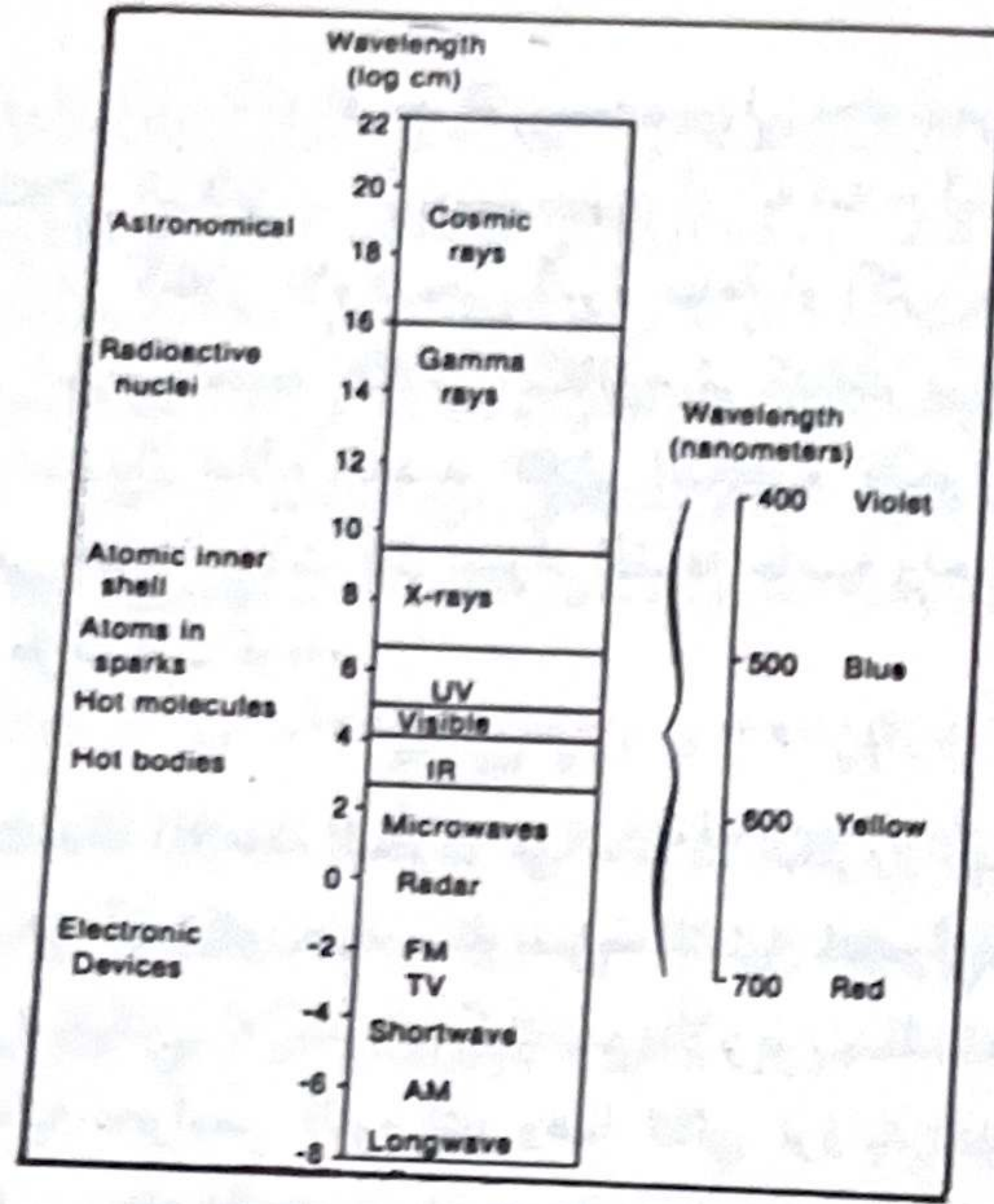
في العموم، تسخن الاشياء القاتمة والملونة عند امتصاصها للضوء، وذلك لقيامها بتحويل الطاقة الى حرارة. لكن، مثلما قد تمكنت المنظومات البيولوجية من استنباط الوسائل لاستمداد الطاقة من آكسدة المواد العضوية فانها قد نجحت ايضا في تصريف جزء من طاقة الضوء قبل ضياعها كحرارة.

ان الفوتونات القصيرة الموجة ، كما بالنسبة الى الضوء ما فوق البنفسجي، تكون عالية الطاقة ، ولذلك فهي مدمرة للعديد من المركبات العضوية بتحطيم أربطتها المشتركة . أما، من جهة أخرى، اذا كانت طويله الموجة للغاية ، فستكون منخفضة الطاقة وتكون ذبذبتها واطئة للغاية فيتعذر امتصاصها. ان الطاقة المتمثلة بشكل الموج، كما في الضوء، تنتقل فقط الى الاشياء المهتزة بنفس ذبذبتها . والالكترونات، كجميع المادة في حالةالحركة، تنتقل في نمط موجي ذي ذبذبة معينة تعتمد على الكتلة والسرعة. ان ذبذبات أغلب الالكترونات الدائرة حول الذرات قصيرة للغاية ، بحدود الاشعة السينية، انما يمكن في الجزيئات ذوات الاربطة المتناوبة فردا وزوجا أنتكون الالكترونات المترددة على طول المسلسل طويلة الموجات. وهذه المركبات هي

مواد عضوية ملونة ، تمتص الضوء الأزرق أو الاحمر أو الاصفر وتعكس اللون المتمم.

ليست مدارات الالكترونات ثابتة وانما تنقسم الى وحدات فرعيـة أو مسارات (مدار = orbit ، مسار =orbital) تمثل مدى من مستويات الطاقة ضمن المدار، وعليه، عندما تمتص الجزيئة كماً من الضوء تنتقل الطاقة الى الكترونة (electron) يتم رفعها الى مسار ذي مستوى أعلى من الطاقة . وفي هذه النقطة يقال لها بأنها في حالة اثارة او تهيج (excited state) . غير ان حالات التهيج هي تضاريس غير مستقرة ولا تلبث الالكترونة ان تعود الى المستوى الاوطأ، أو حالة الهمود (ground state) ، مستغنية عن الطاقة ببث الضوء (التلصف) (emission of light-fluorescence) أو بواسطة التصادمات (collisions) ومولدة الحرارة.

لتسخير الطاقة لانجاز شغل يجب الحيلولة دون تبددها كحرارة أو كضوء وصبها في شكل يمكن استخدامه ، وهذا بالنسبة الى المنظومات البيولوجية يعني تحويلها الى طاقة كيميائية . عند ضخ ما يكفي من الطاقة في الالكترونات يمكن في الغالب استحثاثها لترك مدار الجزيئة المتهيجة والانتقال الى مادة متقبلة، وآنذاك يصبح هذا بالتفاعل الكيميائي التأكسدي الاختزالي يقوم عامل الاكسدة او المؤكسد (oxidant) فيه بتقبل الكترونات من مورد donor ويختزل به، وهذا هو المنبع أو الباعث الاصلي لعملية التمثيل الضوئي والطريقة التي يتم بها تحويل (conversion) ضوء الشمس مباشرة الى طاقة كيميائية.

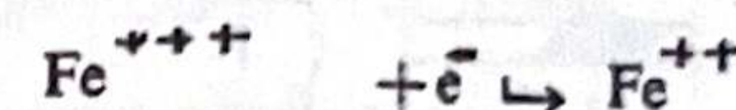


الشكل ١/١٤ ــ الطيف الكهرومغنطي

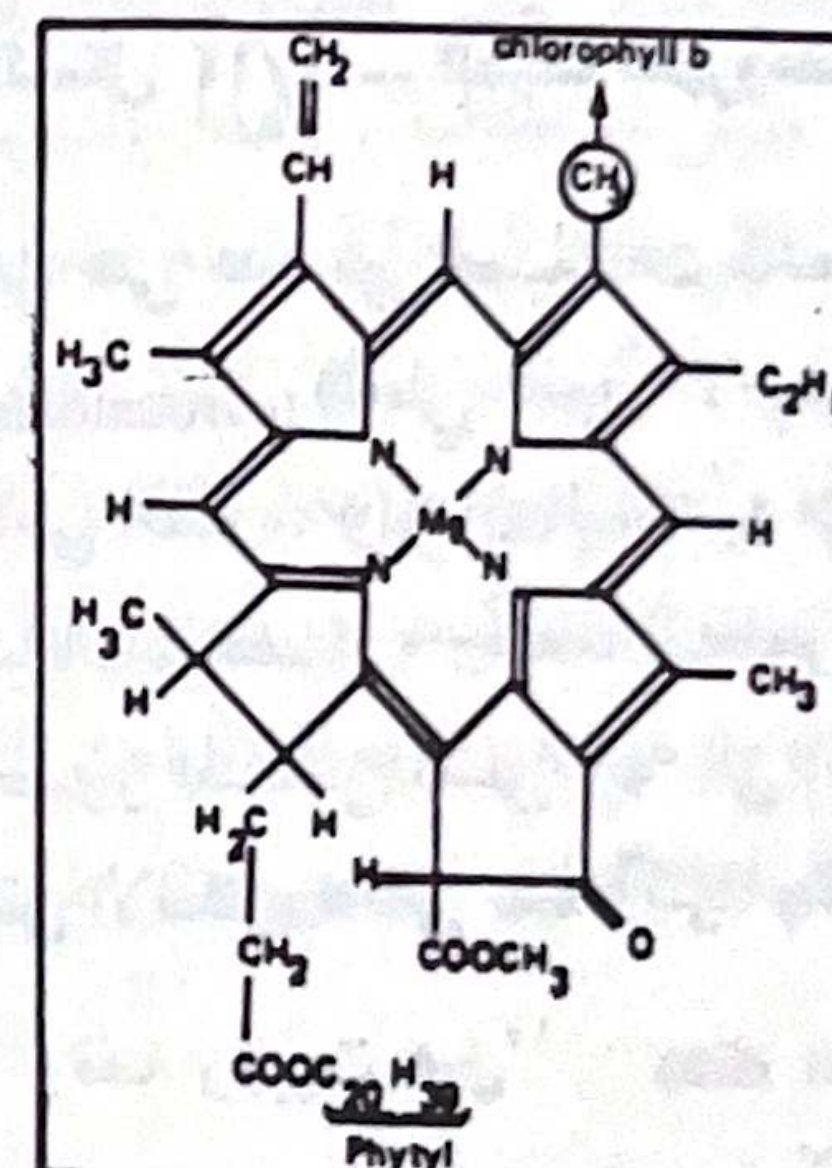
تحتوي النباتات على عدد من الصبغات كالجزرينات (carotenes) وشبه الجزرينات (carotenoids) (تعطي اللون الاصفر ــ البرتقالي الذي في الجزر) تقوم بامتصاص الضوء، ولو ان اليخاضير هي الجزيئات الرئيسة التي تمتص الضوء في النباتات الخضراء . وعندما اليخضور كماً من ضوء الشمس تعود الطاقة في اليخضور المنشط المتليء بها الى التبدد بسرعة من خلال التلصف ان لم يتم نقل الالكترونة الى حالة أكثر استقرارا.

في عام ١٩٣٧ وقف روبرت هيل[1] (Robert Hill) من جامعة كمبرج على اكتشاف أفضى الى تشخيص عدد من حاملات الالكترون (carriers) وظيفتها نقل الالكترونات من اليخضور المتهيج. وجد هيل أن عند وضع أو

تعليق الاوراق اليابسة او المسحوقة (powdered) في محلول من الماء واوكسالات الحديد الثلاثي التكافؤ (ferric oxalate) أو أية املاح أخرى للحديدالثلاثي التكافؤ، تبدأ بأطلاق الاوكسجين لفترة ساعة او اكثر، وهذا أطول بكثير من بدون املاح الحديد الثلاثي التكافؤ. ثم كشفت دراسات لاحقة انه بالامكان استبدال املاح الحديد الثلاثي التكافؤ. بالكونيون أو صبغات معينة. وفي جميع الحالات كان للمواد المضافة خاصية واحدة مشتركة ، وهي انها كانت مؤكسدات قوية.



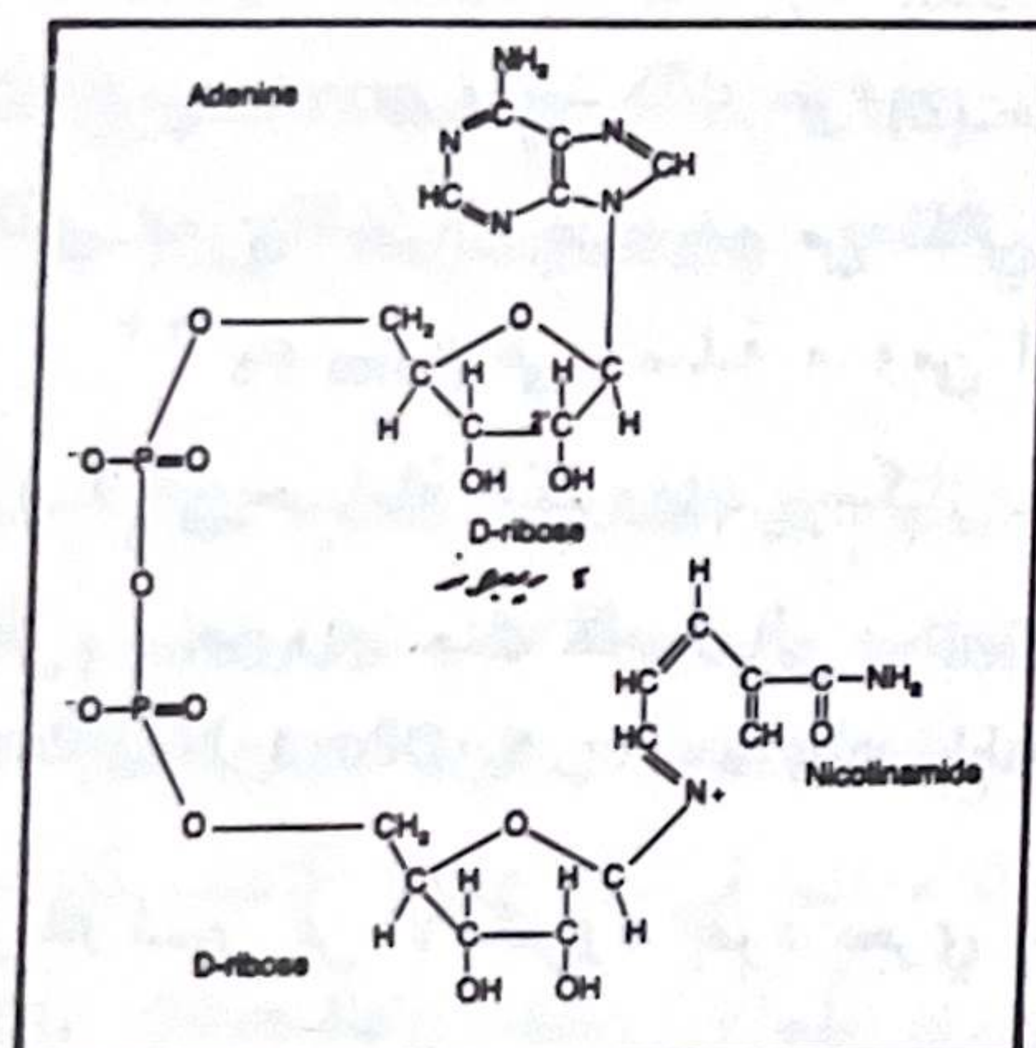
أطلقت هذه الملاحظة البحوث عن حاملات الكترون طبيعية الحصول في النباتات يمكن أن تكون لها صلة بعملية التمثيل الضوئي، وفي النهاية تم العثور على متقبلتين للالكترون كانتا من الانزيمات المساعدة وانتسبتا الى اللبنات البنائية لحوامض النوويك، وهما ثنائي نوويتد ادنين النيكوتيناميد NAD ناد) ومشتقه المفسفر (Phosphorylated= — NADP NAD).



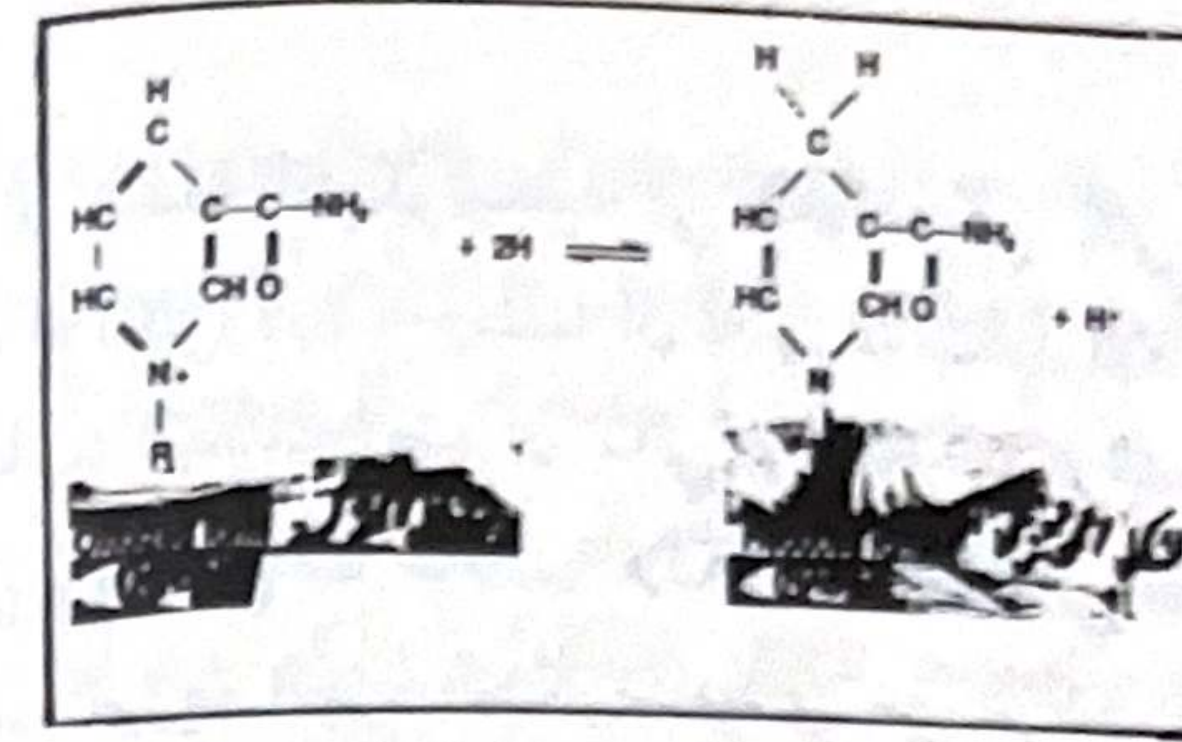
الشكل ٢/١٤ ـ بنية اليخضور أ. تتالف مجموعة الفايتل (phytyl) من سلسلة طويلة غير متفرعة .

ان شدفة النيكوتيناميد في الجزيئة هي التي يمكنها تقبل أو اخذ واعطاء الالكترونات . ومثلما ان ثلاثي فوسفات الادنوسين (ATP) هو حامل للفوسفات، فكذلك ايضا ان ثنائي نوويتد النيكوتيناميد (NAD) ومشتقه المفسفر (NADP) هما حاملان للالكترونات. اما في الانسان والفقريات الاخرى فيتوجب توريد الجزء النيكوتيناميدي من المركب من خلال الغذاء بشكل نياسين (Niacin) وهو احد فيتامينات المجموعة ب (B vitamins) .

بالرغم من ان (NAD) و (NADP) متشابهان في التركيبة الكيميائية ، فان كلا منهما يلعب دورا مختلفا عن دور الآخر. يتقبل (NAD) الالكترونات الموجهة الى الاوكسجين في التنفس . بينما يقوم NADP بتوجيه الكتروناته لاختزال المركبات العضوية ، وعليه فان (NADP) اسرع في اختزال ثاني اوكسيد الكربون الى سكر.



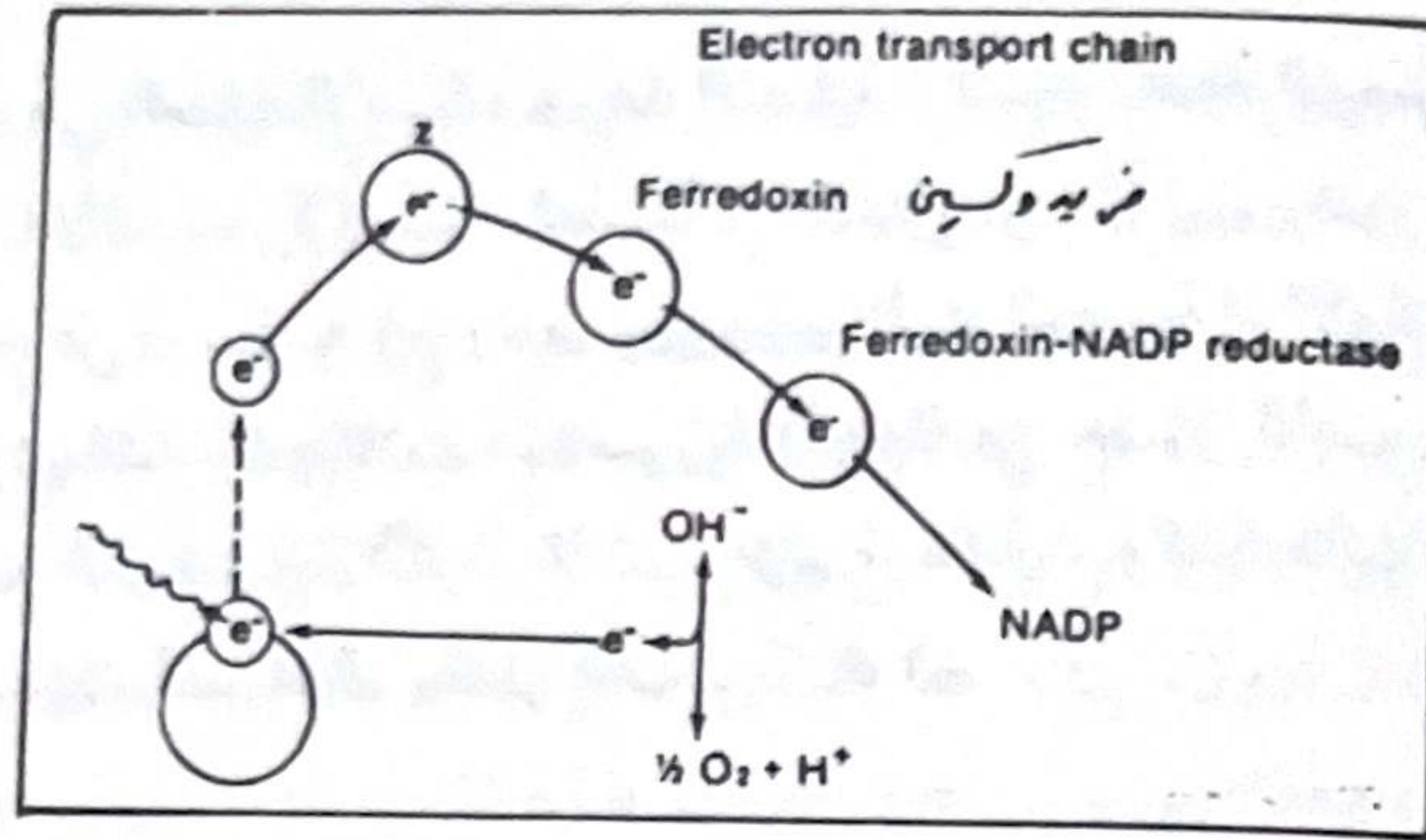
الشكل ٣/١٤ ـ ثنائي نوويتد ادنين النيكوتيناميد NAD . اما فوسفات ثنائي نوويتد ادنين النيكوتيناميد NADP فيتضمن مجموعة فوسفاتية ملحقة في ٢ـهايدروكسيل الريبوز (2-hydroxyl of ribose) بجانب حلقة الادنين.



لا يتقبل NADP الالكترونات من اليخضور المنشط مباشرة ، وانما يتم نقل الالكترونة في مسلسل من مركبات اختصاصية ، وهنا في هذه النقطة يصبح الفريدوكسين ، وهو بروتين الحديد ـ الكبريتيد الذي ربما كان أول بروتين تستخدمه الخلايا الحية ، لأنه ذو أهمية ملحوظة. عندما تنشط الكترونة في جزيئة اليخضور تقوم بترك هذا المركب وترحل الى جزيئة يخضور أخرى موسومة (P700)، وتقوم (Z) ، وهي متقبلة الكترونات قوية ، بسحب الالكترونة المنشطة من (P700) • بعد ذلك تقوم (Z) بترحيل الالكترونة الى الفريدوكسين الذي يجري اختزال حديده من ثلاثي الى ثنائي التكافؤ (from Fe^{+++} to Fe^{++}) في العملية • ومن الفريدوكسين يجري ترحيل الالكترونة الى حاملة الكترون ، ريدكتاز ـ اوكسيد و NADP ـفريدوكسين الى NADPox حيث تتحول الى NAOPred

(ferredoxin-NADP oxido-reductase to NADPox,) NADPred converting it to NADP red.)

وفيما يتخلى الفريدوكسين عن الالكترونة يعود يجري اكسدة حديده الثنائي الى الثلاثي التكافؤ (from Fe^{++} back to Fe^{+++}) •وهكذا يحصل تدفق ضوئي الاستحثاث للالكترونات من اليخضور الى NADP الى أن يتم اختزال جميع الـ NADP •

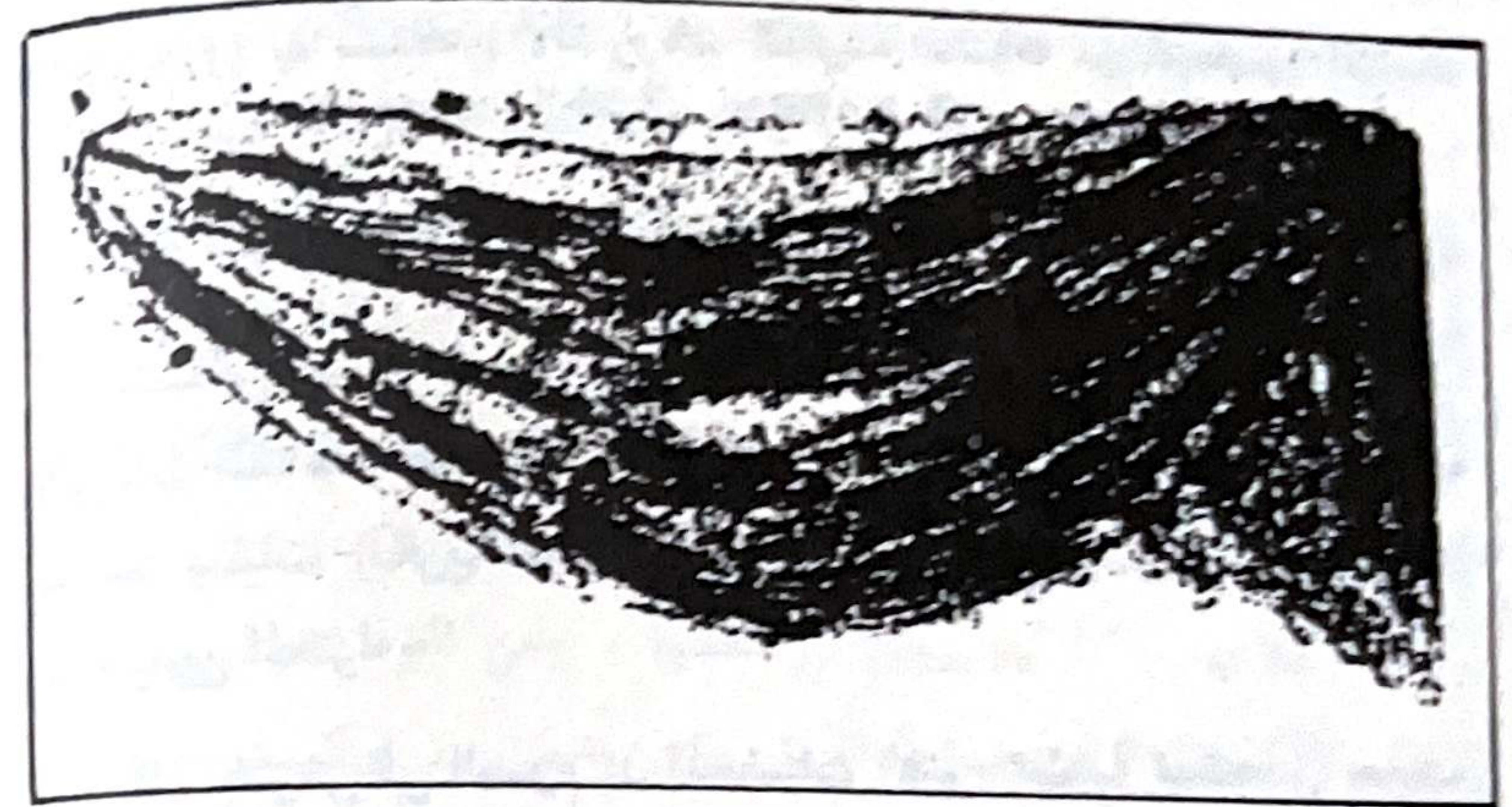


الشكل ٤/١٤ ـ تستخدم الالكترونات العالية الطاقة من اليخضور المنشط (energised) لاختزال NADPox الى NADPred

وما أن يتم اختزال NAD الى NADP حتى تكتمل الزردة (link) من امتصاص ضوء الشمس الى التمثيل الضوئي، وآنذاك يتسنى لهذه الانزيمات المساعدة المختزلة أن تشارك في عمليات التحويل الكيميائي المختلفة بما فيها عمليات الكربكسجة (carboxylations) التي تتوقف نوويتيدات البيريميدين المختزلة•

كان يفترض في العموم ان المتعضيات الضوء تمثيلية تستحصل جميع الأتب ATP الذي تحتاجه من تجزئة الغلوكوز، مما ينم عن ان الغلكلة أو غيرها من عمليات التجربة المماثلة كانت قد سبقت عملية التمثيل الحيوي للأتب في نشأة الحياة • انما في عام ١٩٥٤ اكتشف كل من دانيال ارنون (Daniel Arnon)، وميري بيل آلن (Mary Belle Allen) ، وفريدريك ويتلي[٣] (Frederick Whatley) ما سمي بعملية الفسفرة الضوئية (photophosphorylation) لاحظ هؤلاء ان الجبيلات اليخضورية ، بدون معونة من الجسيمات (particles) الخلوية الاخرى، تملك القدرة على تثبيت ثاني اوكسيد الكربون وعلى التحويل المباشر لطاقة الضوء الى أتب•

هذه هي العملية الابسط، وربما الاصلية، لتسخير طاقة الشمس المشعة لانتاج الأتب. كانت عملية تكوين الأتب تتم في معزل تام عن أوسطة (ح وسط substrates) المواد العضوية او الاوكسجين. وعندما جرى اضاءة الجبيلات اليخضورية المعزولة في حضور الأدب ADP والفوسفات اللاعضوي، تكون الأتب بوتيرة عالية، وكلما طالت فترة اضاءة الجبيلات كلما تعاظم مقدار الأتب المتكون.



الشكل ٥/١٤ ـ جبيلة يخضور الطماطة منظورة من خلال مجهر الكتروني. الاقسام المحززة هي الحويصلات الرقائقية مع الاغشية التي تقوم حواجز العزل الجوهرية لعملية التمثيل الضوئي. الصورة مكبرة (٢٢٠٠٠) مرة.

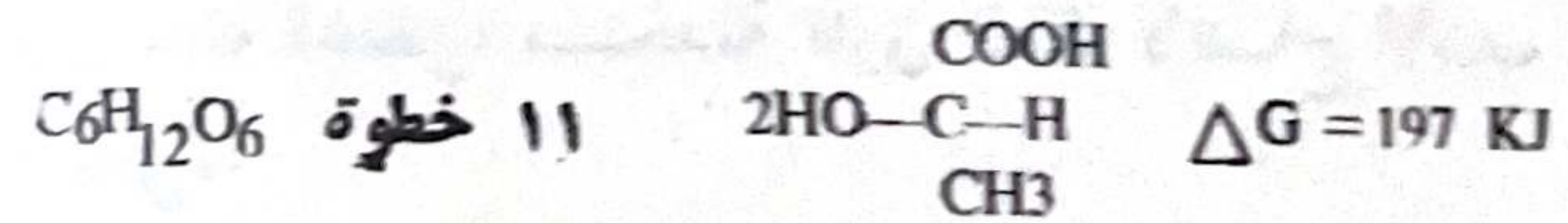
لا تمس الحاجة الى مورد الكترونات خارجي في عملية الفسفرة الضوئية. ينشأ تولد الأتب من تدفق الالكترونات دائريا (cyclic) من اليخضور المتهيج الى الفريدوكسين، ثم من خلال آلية انزيمية، ورجوعا مرة أخرى الى اليخضور بسلسلة من الحاملات، ولكي تتم هذه العملية يقتضي فصل مورد الالكترون الاول او عزله عن متقبل الالكترون الاخير، والا فتختل دورة تدفق الالكترون. ينشأ هذا الفصل بفعل الحاجز العازل الموجود في الغشاء الدهني، وهذا هو سبب عدم حصول عملية التمثيل الضوئي في السوائل المعزولة، على نقيض المستخرج للغلكلة اللاهوائية، والتكاملية (أي عدم تجزئية: integrity) البنيوية ضرورة مطلقة لعملية الفسفرة الضوئية، وكانت الحياة لتستحيل لولا الخواص الفريدة للغشاء الدهني.

تمكن المتعضيات الضوء تمثيلية من توليد الأتب بالتقاف واستخدام طاقة ضوء الشمس مباشرة. ولا يستبعد ان كانت هذه الطريقة الابتدائية التي استخدمتها الخلايا البدائية لانتاج ما تحتاجه من الأتب. غير أن تجريد الغلوكوز ايضا يرجع الى أصل اولي وهي مثال البساطة. في عملية التمثيل الضوئي تقوم المتعضيات بتحويل الطاقة الشمسية الى طاقة كيميائية ببناء مركبات عضوية ذات مستوى أعلى للطاقة. وفي عملية الغلكلة تتناول المتعضيات الغلوكوز المتضمن لتلك الطاقة الكيميائية وتجريده الى مشتقات ذات طاقة أخفض، مستخدمة فارق الطاقة لانتاج الأتب ودفع خطوات التفاعل.

عندما وجد بوخنر في عام ١٨٩٧ أن بوسع المكونات الكيميائية من الخميرة تجزئة الغلوكوز الى ايثانول وثاني اوكسيد الكربون خارج بنية الخلية، اكتشف الطريقة الاصلية للمنظومات البيولوجية لاستخراج الطاقة الكيميائية من المركبات العضوية. آنذاك ظن بوخنر ان التخمر كان تفاعلا

كيميائيا مفردا تحفزه انزيمة اسمها زيماز (Zymase) ، لكن عندما تم حـل آلية التحويل برمتها في الأخير، تبين ان تجزئة الغلوكوز تألفت من أحد عشر تفاعلا منفصلا، كل منها محفز بأنزيمة نوعية • وهذا هو مسلك ايمبدن ـ مايرهوف ـ موسوما باسميّ البيوكيميائيين الالمانيين اللذين قاما بافتراض ورسم الخطوات الحرجة للمسلسل اثناء أواخر العشرينيات وأوائل الثلاثينيات من هذه القرن•

تخمر خميرة صـانع البيرة (Brewer) الغلوكوز الى ايثـانول وثـاني اوكسيد الكربون، لكن تقوم بكتيريا مختلفة بتوليد الاسيتون والبيوتانول وحامض الخليك والايثانول كمنتوجاتها النهائية للتخمر • غير ان التجزئة الرئيسة هي التجريد اللاهوائي للغلوكوز الى حامضي البيروفيك واللبنيك• تمثل هذه التجريد الابتدائي للغلوكوز الذي يتواجـد في جميع الكائنات الحية ، والموروث من اللاهوائيات البدائية التي كانت أول اشكال الحياة على الارض • وقد جرى تمديد سياق التفاعل اثناء النشوء والتطور من قبل متغضيات مختلفة للحصول على منتوجات متنوعة • في الحيوانات، تباقى المسلك اللاهوائي في تقلص العضل حيث يظهر حامضا البيروفيك واللبنيك بمثابة منتوجات نهائية اولية قبل ادخال الاوكسجين للمزيد من اكسدة ثاني اوكسيد الكربون والماء•

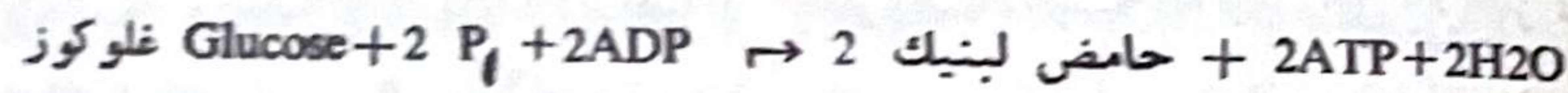


غلوكوز　　　حامض اللبنيك

كما اكتشف بوخنر، تبدأ جميع عملية التخمر برمتها بمجرد جعل جميع المتفاعلات معا في السـائل • وبما انه تبين ان المسلسل يتألف من تفـاعلات منفصلة مع امكان اقامة كل منها منفصلا في المختبر ، تأتي منتوجات كل خطوة

بمثابة المتفاعلات أو الوسط لانزيمة التفاعل اللاحق• وعليه، مع جميع المكونات متواجدة ، تتواصل عملية تجزئة الغلوكوز بلا انقطاع عبر كل خطوة حتى المنتوج الختامي•

لانجاز عملية الغلكلة تجري فسفرة الغلوكوز مع الأتب بحيث يتم اثناء التجزئة انتاج مشتقين اثنين بمستوى طاقة اعلى من الأتب• وبالتالي يتمكن هذان المشتقان العاليا الطاقة من توليد الأتب بترحيل مجموعة فوسفاتهما الى الأدب (ADP) • واجمالي النتيجة في عملية تجزئة الغلوكوز الى حامض اللبنيك هي ان جزيئتين من لأتب اللتين استخدمتا لفسفرة الغلوكوز تؤديان الى تكون اربعة أتب من الأدب لحصيلة صافية من اثنين أتب• يجري اثناء العملية اختزال NADox (ناد مؤكسد) الى NADred(ناد مختزل)، انمـا يعاد توليده في النهاية عندما يقو مبتحويل حامض البيروفيك الى حـامض اللبنيك• وتصبح المعادلة الاجمالية لمجموع التفاعلات:



عندما تجري تجزئة الغلوكوز بخطوات لاستدرار الطاقة الكيميائيـة لانتاج الأتب، يوجد تفاعل كيميائي واحد يعمل بمثابة المفتاح الى نقـل الطاقة • وهذا التفاعل هو اكسدة الغليسر الديهايد ٣ ـ فوسفات بواسطة NADox (glyceraldehyde 3-phosphate) مع الفسفرة المتزامنة لرفع الوسيط (intermediate) الى ١و٣ـ دايفوسفوغليسـرات (1,3-diphosphoglycerate) وهو مشتق فوسفاتي ذو طاقة عالية طاقتـه أعلى من الأتب• في التفـاعل الختامي للمسلك يعاد توليد NADox في عملية اختزال حامض البيروفيك الى حامض اللبنيك بواسطة NADred ، متمما بذلك دورة تفاعل الاكسدة ـ الاختزال، وكان عند هذه الخطو ة من الاكسدة بواسطـة NADox ان تـم

استرجاع بعض الطاقة المضمنة في الغلوكوز بفعل اختزال ثـاني اوكسيد الكربون في عملية الفسفرة ، وذلك بتفاعل عكسي للاكسدة .

ما هو اذن اساس عملية الاكسدة ـ الاختزال الذي يجعلها تلعب هذا الدور المركزي في الطاقويات الحيوية؟

ان الاوكسجين هـو العنصر الاكثر كهروسلبيـة (electronegative) في الوجود باستثناء الفلورين، اما الهيدروجين فهـو عنصر كهرومـوجب (electropositive) • وهذا التناقض الكهروكيميائي بين العنصر الاوكسجين والهيدروجين يجعل التفاعل بينهما من اشد التفـاعلات الكيميائية والرابط O-H من أقوى الاربطة • يصطحب التفاعل التأكسدي، المتسم عادة باضافة الاوكسجين، باختزال مزامن للاوكسجين ، بينما الهيدروجين هو العـامل المختزل في عملية تكوين الماء، وبعبارة أعم، ان العامل المختزل هو الشيء الذي تجري أكسدته • ولما كانت ذرة الهيدروجين تتألف من الكترونة واحدة وبروتونة واحدة (H^+) فان اضافة الكترونـة اليـه تؤدي الى الاختزال وازالتها منه تؤدي الى الاكسدة.

تستخدم النباتات طاقة الضوء الشمسي في عملية التمثيـل الضوئي لاختزال ثاني اوكسيد الكربون الى غلوكوز بشحنة قدرها (٢٨٨٠) كج/م من الغلوكوز، فيكون هذا خزين الطاقة الكيميائية الذي تستمد المتعضيات منه طاقتها لانتاج الأتب. يلزم لتحرير (٢٨٧٠)كج اكسدة الغلوكوز كليـا بالاوكسجين لاعادته الى ثاني اوكسيد الكربون والماء، لكن البروكاريوت الاركية كانت عاجزة عن القيام بمثل هذه العملية مع ضآلة أو انعدام الاوكسجين في بيئتها.

مع ذلك يمكن سحب بعض الطاقة لأن بأمكان الذرات أن توجد



في حالات مختلفة من الاكسدة بحسب تركيبة المركب. بالنسبة الى الكربون يؤلف ثاني اوكسيد الكربون (CO_2) الحالة التامة التأكسد والميثان (CH_4) الحالة التامة الاختزال. وجميع مركبات الكربون الاخرى تمثل مستويات وسيطة من الاكسدة. يؤدي تحويل مركب الى آخر مع قلة اختزال الكـربون الى الاكسدة ويسفر هذا عن تحرير فارق الطاقة السـائبة بين المركبين. وبناء على هذا عند تجزئة الغلوكوز الى حامض اللبنيك بواسطة المسلك اللاهوائي تؤدي الاكسدة الى تحرير (١٩٧)كج من مجموع (٢٨٧٠)كج في كل مولة من الغلوكوز، وفي اثناء العملية يتم انتاج جزيئتين من الأتب من واحدة الغلوكوز، تحتوي كل منها على طاقة قدرها (٣٠ر٥)كج. لذلك فان المسلك يلتقف مـا مجموعه (٦١)كج من (١٩٧) كج من الطاقة ، ويستخدم الباقي وقدره (١٣٦ر٥) كج كالقوة الدافعة لتأمين اتمام التفاعلات • فمن مجموع (٢٨٧٠)كج في بنية الغلوكوز تمكنت المتعضيات اللاهوائية من استخراج أو استرداد (٦١)كج فقط أي ما يبلغ حوالي اثنين بالمائة (٢٪).

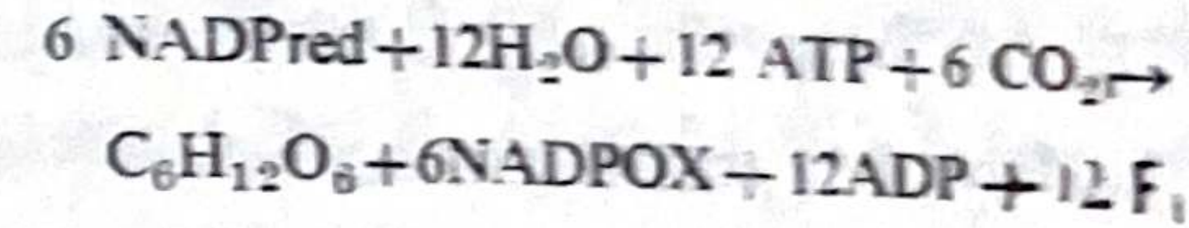
وفرت التجزئة اللاهوائية للغلوكوز الى حامض البيروفيك مصدرا ممكنا من الطاقة الكيميائية يعول عليه في انتاج الأتب، الا انه ثبت في الأخير ان مورد الكربوهيدرات اللاحيوية قابل للنضوب، فقامت المتعضيـات بتنميـة مسلسل من التفاعلات لعكس العملية وتمثيل الغلوكوز من حامض البيروفيك، توجد سبع خطوات قابلة للعكس في عملية الغلكلة ، اما الثلاث الأخرى فيتم تفاديها او تجاوزها في التحويلات الانزيمية التحفيز التي تصبح تلقائية في اتجاه عملية التمثيل بفعل شحنة من ستة اربطة فوسفاتية عالية الطاقة ، أربعة منها من الأتب واثنـان من الج تب (guannosine triphosphate=GTP= ثلاثي فوسفات الغوانوسين).

ومثلما استنبطت المنظومات البيولوجية الوسائل لاستعمال الأتب لاعادة بناء مخازنها من الغلوكوز، فأنها كذلك تستخدم ثاني اوكسيـد الكـربون



كمصدرها من الكربون لتشيل الغلوكوز. كانت المتعضيات الاولية تملك القدرة على استمداد الأتب بعملية الفسفرة بتسخير طاقة ضوء الشمس واستعمال الأتب كعامل تنشيط (activator) وتمكنت من تجريد الغلوكوز وغيره من المركبات العضوية للاستقاء من طاقتها الكيميائية الكامنة . كان الغلوكوز خزينا من الطاقة الكيميائية وكان بالامكان اعادة بنائه من حامض البيروفيك بشحنة من الأتب. انما لمواصلة نموها دعت حاجة المنظومات البيولوجية الى الاستمداد من مورد للكربون والنتروجين عندما نضبت المركبات العضوية التي كانت متوفرة ، ووجدت في الواقع خزينا لا ينضب من العنصرين في الجو.

كان ثاني اوكسيد الكربون في الجو جاهز المنال ولكنه كيميائيا كان تام الاكسدة مما استلزم اختزاله جزئيا قبل امكان استيعابه كمادة عضوية. ولانجاز هذا استنبطت المتعضيات الضوء تشيلية وسيلة لتثبيت ثاني اوكسيد الكربون باستخدام قدرة التشيل الضوئي الاختزالية . استخدمت NADPred كعامل اختزال وأتب لتوريد القوة الدافعة ، وتمت تنمية مسلك من التفاعلات التلقائية لدمج ثاني اوكسيد الكربون بالمركبات العضوية:



$$6\ NADPred + 12H_2O + 12\ ATP + 6\ CO_2 \rightarrow C_6H_{12}O_6 + 6NADPOX + 12ADP + 12\ F_1$$

بنفس الوقت تنتج القدرة الاختزالية للتشيل الضوئي المستخدمة لتحويل ثاني اوكسيد الكربون الى غلوكوز قدرة كامنة مؤكسدة بالغة الشدة (عامل مؤكسد) تستخرج الهيدروجين من مورد خارجي، ولابد ان اشكال الحياة الأولى بآليتها للتشيل الضوئي الاقل تطورا منها في الطحالب الخضرزرقاوية المحررة للاوكسجين كانت لتستخرج ما تحتاجه من الهيدروجين

من المصادر المتوفرة التي استلزمت أقل قدر من الطاقة لادرار محتوياتها من الهيدروجين . يجوز أن يكون المصدر الخارجي للالكترونات عضويا ولا عضويا. وعندما يكون المورد ايسوبروبانول هو المورد يجري فيما بعد أكسدته الى اسيتون ، وبنفس الطريقة يتحول السكسينات (succinate) الى فيومارات (fumarate) . والكبريتيد (sulfides) هي مورد الالكترون اللاعضوي الذي تستخدمه بعض البكتيريا.

وفي النهاية كان الماء المادة التي لم تستخدمها البكتيريا قط والتي اصبحت فيما بعد مصدر الالكترون للطحالب الخضرزرقاوية ولجميع الحياة النباتية.



$$2H_2O \rightarrow 4H^+ + O_2 + 2e^-$$

ان استخراج الهيدروجين من الماء يتطلب عشرة أضعاف الطاقة المستخدمة في استخراجه من كبريتيد الهيدروجين، انما اما بسبب نضوب مورد المصادر الاولية او ربما نظرا الى محض غزارة الماء، نشأت متعضيات ضوء تشيلية تملك القدرة على استخراج الهيدروجين من الاوكسجين في جزيئات الماء. وأصبح هذا حدثا خطيرا في نشأة الحياة على الارض لأنه أسفر عن تفريغ الاوكسجين كمنتوج جانبي في البيئة.

كان انطلاق الاوكسجين في الجو هو الذي أدى في الاخير الى تطوير الوسيلة الثالثة لانتاج الأتب. كانت جميع المنظومات البيولوجية تملك القدرة على تجريد الغلوكوز الى حامض البيروفيك بالمسلك اللاهوائي لاستخراج بعض الطاقة الكيميائية . لكن أغلب الطاقة بقيت في بنية حامض البيروفيك، واستنبطت بعض الخمائر والبكتيريا طرائقا لتحويل حامض البيروفيك الى مركبات عضوية أخرى. غير ان نسبة كبيرة منه اصبحت استيل الانزيمة المساعدة أ (acetyl coenzyme A) التي استخدمت لتشيل الدهنيات والمكونات الأخرى. وطالما بقيت البيئة خالية من الاوكسجين لم

تتواجد الوسائل لاكسدة حامض البيروفيك اكثر من ذلك لاستخراج الخزين العظيم من الطاقة الذي كان ما يزال كامنا في أربطته الكيميائية.

ثم خلال الفترة بين ما قبل الف وثمانمائة (١٨٠٠) مليون وستمائة (٦٠٠) مليون سنة خلت استمر الاوكسجين المتحرر من الماء بواسطة المتعضيات الضوء تمثيلية في أكسدة نطاقي الارض المائي والجوي الى ان بدأت البيئة بمراكمة الاوكسجين الطليق او السائب . خلال فترة الالف ومائتي (١٢٠٠) مليون سنة المذكورة لستنبطت بعض المتعضيات المجهرية انزيمات ومكونات أخرى اصبحت مسلسلا من التفاعلات للاكسدة الكلية لحامض البيروفيك، ولابد أن الجهاز الجيني استغرق زمنا طويلا للغاية عبر اجيال لا تحصى لاستنباط المسلك المتطور، لكن الفائدة الانتقائية لكمية الطاقة المكتسبة كانت مذهلة.

نرى اليوم التجزئة الهوائية لحامض البيروفيك بحالتها الاكثر تطورا لكننا لا نعلم غير القليل عن المراحل المختلفة التي مرت من خلالها في عملية تطورها. في الاقل كانت بعض التفاعلات متواجدة مسبقا كتفاعلات جانبية للتخمر لتوفير الحوامض الامينية. وعلى ما يظهر تم تحوير وتمديد هذه بالمائة (١٪) من مستواه اليوم، فلربما انها كانت قد سبقتها فترة طويلة من التطور. لقد انحدر المسلك في النباتات والحيوانات من خلال الميتوكوندريا، وهي الجسيمات الخلوية الفرعية السجقية الشكل التي تقوم بإمداد الأتب في جميع الخلايا اليوكاريوتية.

لم يتم اكتشاف الكيمياء التفصيلية للتنفس حتى أواخر الثلاثينات من هذا القرن عندما قام هانز كريبس[٣] (Hans Krebs) بتنضيد مسلسل من التفاعلات الانزيمية تتضمن الحوامض الثلاثية الكاربوكسيليك (tricarboxylic acids) المستخدمة لاكسدة حامض البيروفيك الى ثاني

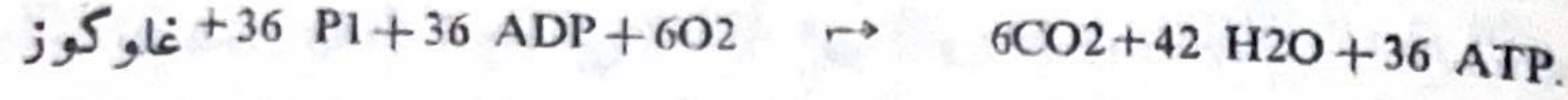
اوكسيد الكربون والماء. اثناء السياق تدخل استيل الانزيمة المساعدة أ من عملية نزع كربكسلة (decarboxylation) حامض البيروفيك المؤكسدة في ميتوكوندريونة حيث تقترن مجموعة الخلات بحامض الاوكسالوخليك (oxalo acetic acid) لتشكيل مركب حامض السيتريك السداسي الكربون . في التفاعلات السبعة التالية يتم تجريد حامض السيتريك (citric acid) واعادته الى حامض الاوكسالوخليك بطريقة تتم بها اكسدة وحدة استيل ثنائية الكربون الى جزيئتين من ثاني اوكسيد الكربون بالاوكسجين الجزيئي. في هذا المسلسل يجري على الدوام استهلاك واعادة توليد حوامض ثنائي وثلاثي الكربوكسيليك المتضمنة اربعا وخمسا وستا من ذرات الكربون (carbons) في العملية الدائرية . وبالنتيجة بوسع جزيئة مفردة من حامض الاوكسالوخليك انجاز اكسدة عدد لا حصر له من مجموعات الاستيل بفعل تكرار تولدها في نهاية كل دورة.

تمثل شبكية الغشاء (membrane complex) في الميتـوكوندريا ، حيث يتم تجريد حامض البيروفيك. بنية من أكثر البنى واشدها تعقيدا التي استنبطتها المنظومات البيولوجيـة ابداء. ما تزال الآليـات الجزيئيـة لاستحـالات الطاقة التنفسية (respiratory energy) (transformations) غير مستوضحة بتمامها، انما يظهر ان الميتوكوندريا تملك القدرة على اللجوء اليها لتمثيل الأتب، والقيام بعملية الهدرجة الاجتيازية أو الخلاليـة (transhydrogenation) هدرجة الايسومرات في الجانب الآخر)، ونقل الايونات ، وغير ذلك من العمليات الجوهرية بطريقة بالغة التنسيق. انما ما هو معروف هو ان البنية والوظيفة (structure and function) متشابكتان على نحو مستغلق تقوم فيها شبيكات الانزيمات بأكسدة حامض البيروفيك والحوامض الدهنية بباطن الغشاء الميتوكوندري.

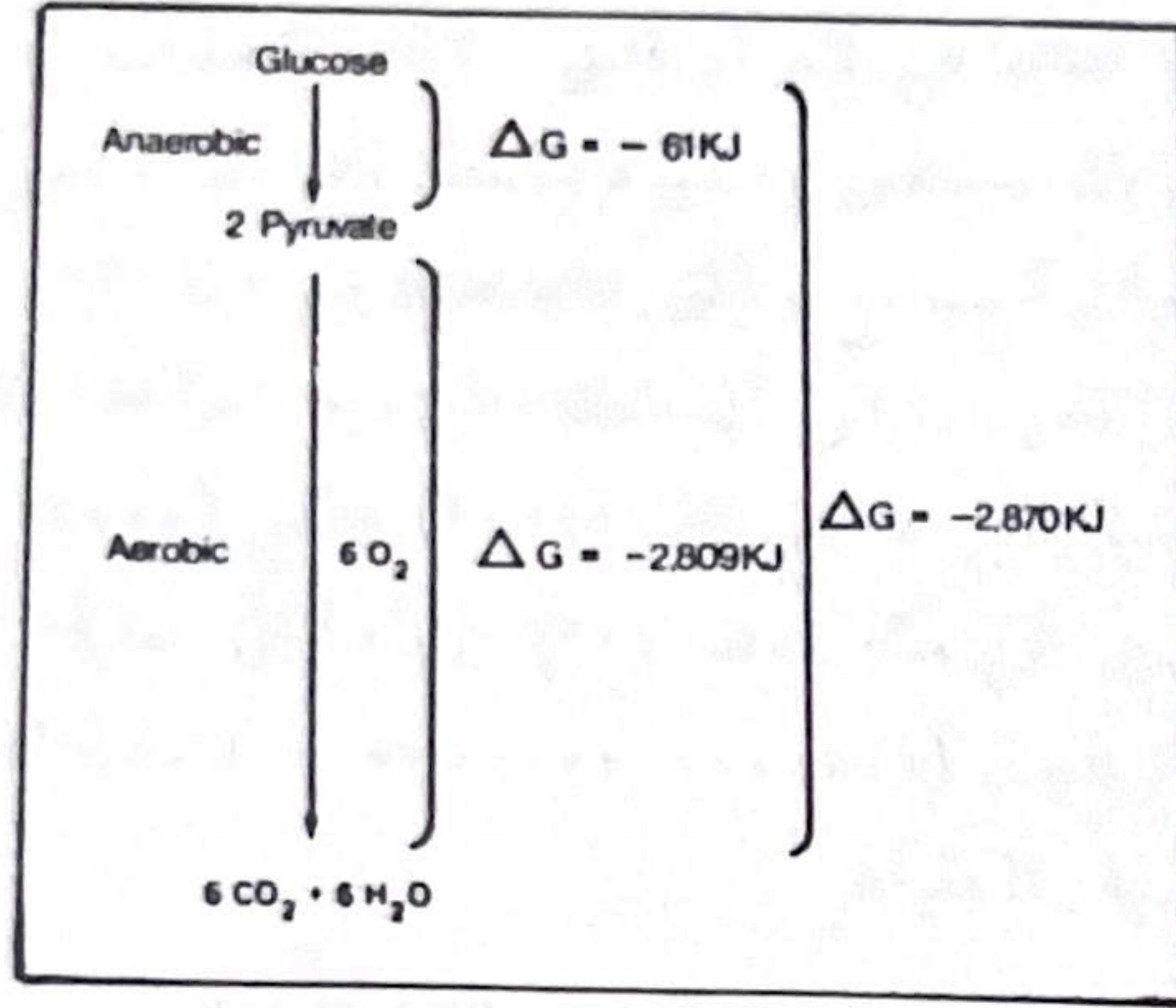
لابد ان الفائدة الانتقائية المتوخاة كانت عظيمة ليتسنى نشوء شيء بالغ في التعقيد للغاية مثل الميتوكوندريونة ، من السهل رؤية ما الذي كسبته الميتوكوندريا عند فحص عودة الطاقة في التنفس . جميع المتعضيات تتضمن المسلك اللاهوائي للغلكلة ، موروثا من اسلافنا البروكاريوتيين المشتركين، انما اليوكاريوت بميتوكوندرياتها مددت تجزئة الغلوكوز بأكسدة حامض البيروفيك كليا الى ثاني اوكسيد الكربون والماء.

طالما كانت المنظومات البيولوجيـة مقتصرة على التجزئـة اللاهوائيـة للغلوكوز ظلت تستمد فقط جزيئتين من الأتب لكل جزيئة من الغلوكوز، وكان هذا حصيلة من الطاقة تبلغ فقط (٦١) كج من مجموع الكمية الكامنـة البالغة (٢٨٧٠) كج المحتبسة في البنية الكيميائية . وقد اتاح تغير جو الارض الى حالة متأكسدة ذات الاوكسجين الطليق تجريد الغلوكوز في التنفس لغرض الاغتراف من الخزين الكامن غير المستطرق. وعند كتابة المعادلة الشـاملة

لاكسدة الغلوكوز التامة الى ثاني اوكسيد الكربون والماء من قبل المتعضيات الهوائية تصبح هذه كالآتي:



$$\text{غلوكوز} + 36\ Pi + 36\ ADP + 6O_2 \rightarrow 6CO_2 + 42\ H_2O + 36\ ATP.$$



الشكل ٧/١٤ ـ مقابلة بين حصيلتي الطاقة من التجريد اللاهوائي للغلوكوز الى حامض البيروفيك pyrovate ازاء أكسدة البيروفـات الى ثـاني أوكسيد الكربون والماء .

بقيت الحياة على المستوى المجهري لما يناهز ثلاثة آلاف (٣٠٠٠) مليون سنة، لكن الميتوكوندريا ، أو لربما اسلافها المباشرة التي قامت باستنباط المسلك الانزيمي لاكسدة الغلوكوز بالتمام ، كانت تعمل ببطء على تنمية الاندلاعة الانتشارية . وربما استغرقت تنمية الآلية مئات الملايين من السنين،

لكن ثوابها كان هائلا ، فقد تمكنت المتعضيات القادرة على الفسفرة التأكسدية الآن من الحصول على ست وثلاثين (٣٦) جزيئة من الأتب بدلا من الاثنتين لكل غلوكوز اللتين كانت تستحصلهما من عملية التخمر ، وكانت هذه الزيادة الثمانية عشر (١٨) ضعفا في الطاقة هي التي فجرت انطلاقة الحياة الكبرى من سجنها الخلوي الميكروبي الى تعددية الخلوية وبعد جديد بكليته.

الفصل الخامس عشر ـ مسالة التكوين

ان جميع المتعضيات على وجه الارض، اعتبارا من ابسط خليـة مفردة وصعودا حتى الانسان بذاته، ما هي الا مكائن خارقة القدرات تقوم بلا جهد ولا عناء بتحويل جزيئات عضوية معقدة ، وفرز انماط سلوكيـة في غـايـة الدقة والاتقان ، منتجة ، من المواد الخام الموجودة في البيئة، نسخا بلا عـد ولا حصر مطابقة لذاتها في كثير أو قليل • تتألف العمليات الحياتية من خطوات متداخلة في تشابك مستغلق ومسيرة بضبط بالغ المهارة تتم في باطن الخلية العجيب البنية والتركيب، مع مناطق تخصصية يتم فيها انجاز تفاعلات كيميائية معينة • تشير التقديرات الى أن الخلية البشرية الواحدة تضم مائة (١٠٠) ألف جزيئة انزيمية تنجز ما بين الف (١٠٠٠) والفي (٢٠٠٠) تفاعل كيميائي، أي بمعدل خمسين الى مائة (٥٠ــ١٠٠) جزيئة لكل عملية• ويتضمن الجسم البشري عشرة تريليون (١٠ ٠٠٠ ٠٠٠ ٠٠٠ ٠٠٠) خلية تقوم كل منها بدور خاص في المتعضية الكلية•

كما ان قدرة الانزيمة على تنفيق التفاعلات البيوكيميائية لا تقل بهرا واعجابا بل قل اعجازا • تتراوح وتيرة التحفيز لدى أغلب الانزيمات ما بين الف الى أكثر من خمسمائة الف (١٠٠ــ٠٠٠ ٥٠٠) جزيئة بالدقيقة الواحدة• انما يبدو أن الـوتيرة الأسرع لوحظـت لدى الانزيمة كاتالاز (catalase) فبوسع جزيئة واحدة من الكاتالاز تحويل أكثر من خمسة ملايين (٠٠٠ ٥٠٠٠) جزيئة من البروكسايد بالدقيقة الواحدة!

لا غرو اذن أن تنظر الناس الى الحياة كظاهرة يمكن تفسيرهـا فقط بمنطوق الشرائع اللامادية • لكن، كما بالنسبـة الى جميع الظواهر، بدت الخلية الحية مستغلقة الفهم محيرة فقط لأنه لم يكن قد توفرت بعد ما يكفي

من المعلومات حول العمليات البيوكيميائية لتنضيد سياق منطقي للاحداث الجارية في وظيفتها.

وقد بدا في زمن ما، نظرا الى أن الحياة خلقت النظام من اللانظام، بأنها أعجزت القانون الثاني للديناموحركيات أو علم الثرموديناميكا (thermodynamics) ، والذي ينص على استحالة وقوع عمليات من شأنها أن تؤدي الى زيادة النظام. لكن هذه النظرة اخفقت في الاخذ في الحساب أن القانون الثاني المذكور ينطبق فقط على المنظومات المغلقة • ان الكون ككل ، مع انعدام تبادل المادة والطاقة من الخارج، متوجه ببطء الى حالة من العشوائية التامة • بينما المنظومات الحية ، من جهة أخرى، مفتوحة وليست مغلقة • ان ما يدفع عجلة الحياة هو ضوء الشمس المتدفق الينا من خارج بيئتنا.

كانت قدرات التمثيل الباهرة لدى الأنزيمات مذهلة ومربكة لمجرد أن تكنولوجيتنا في العموم لم تكن بعد بلغت مستوى كفاءة العمليات الحياتية. أن القوان الفيزيائية والكيميائية مستمدة ومبنية على الاحتمالية الاحصائية لسلوك الجزيئات باسلوب محدد • تحتسب حركيات التفاعل الكيميائي على النسبة المئوية للجزيئات التي تملك طاقة كافية وتتنقل طليقة في خليط تفاعلي يصطدم بجزيئة أخرى ملائمة • ان محتوى الطاقة لدى الجزيئات في قطين (population) منها يتبع منحنى توزيعيا (distribution curve) ، والجزيئات التي من شأنها تشكيل ناتج هي فقط تلك التي تضم قدرا من الطاقة يفوق مستوى معيناً • لكن المنظومات البيولوجية قد استنبطت آلية تختلف كل الاختلاف عن آلية الاحتمالية في علمي الكيمياء والفيزياء، وتملك الانزيمات مواقع نشيطة حيث يقع المورد والمتقبل للتبادل الكيميائي في نفس الجزيئة وفي مواضع حيزية تجعل وقوع التفاعل محتوما تقريبا عندما تلتئم الطبقة التحتية او السفلية (substrate) وذلك تجنبا لالتباس كلمة «الاساس» بـ

bases و foundation بالانزيمة. وبهذه الطريقة تكون كفاءة التفاعل على اقصاها بدلا من الطريقة العاجزة حيث تتناقل جزيئتا المورد والمتقبل مستقلتين عن بعضهما في السائل.

بهذه الطريقة تتمكن الخلية الحية من انجاز مسلسلات من التفاعلات باقتدار مذهل. توجد في مناطق من الخلية جزيئة مفردة أو مجموعة صغيرة انما فائقة الانتظام من الجزيئات موجهة بحيث يمكن انجاز التحويل الكيميائي في سلسلة من التفاعلات مع كون احتمالية اتمام كل تفاعل منها جوهريا مائة بالمائة (١٠٠٪). ان السلوك الجماعي لجزيئات منظمة على هذا النحو، ما عدا في المادة الحية، لم يسبق له مثيل في العلوم حتى ظهور الفيزياء المجسمة مؤخرا.

لقد كشف ايضاح فعل التمثيل الضوئي، والتآيض، وآليات الانزيمة، وتمثيل البروتينات ، وتناسخ وترجمة الحوامض النوويك ، بأن هذه العمليات جميعا تتبع قوانين كيميائية وفيزيائية ثابتة مقررة • لا يوجد ثمة أثر لأية قوة حيوية، ولا تمس الحاجة الى الاستعانة بهذه الفكرة لتفهم آليات الحياة. ولم تكن النظرية الحيوية قط مبدءا ابتكر كيفما اتفق بل كانت نوعا من الرأي الشامل لتغطية كل ما يتعذر فهمه خلاف ذلك.

كما ان تعقدية الحياة أيضا باهرة ومذهلة • لقد قام البيولوجيون باحصاء وتصنيف ما يناهز مليون نوع من الحيوان ونصف مليون نوع من النبات، ويقدر عدد الانواع الحية التي لم يجر تصنيفها بما ينوف على عشرة ملايين نوع. ثم ان عدد الانواع المنقرضة والمتمثلة في الاحافير ربما يربو على كل هذا. لقد تنوعت الحياة الى حد رهيب، وامتدت في الحقيقة الى كل بقعة بيئوية ملائمة من اطيان واوحال النزز البحرية المتنضبة الاوكسجين والتربات الغنية بالامونيا الى الرواسب الفلزية ذات المحتوى الاشعاعي

العالي. توجد متعضيات مجهرية تعيش في برك متنزه يلوستون الوطني في درجات حرارة لا تقل عن ثمانين درجة (٨٠°) مئوية، وتوجد نباتات مجهرية في بركة دون خوان في القارة القطبية الجنوبية تتأيض في مياه كلوريد الكلسيوم في درجات حرارة منخفضة تبلغ ثلاثا وعشرين درجة (٢٣-°) مئوية تحت الصفر، كما توجد بكتيريا وطحالب وفطريات يمكنها أن تعيش في بيئات شديدة الحموضة أو القلوية ، ولشدة غيظ الفيزيائيين تواصل البكتيرة سيودوموناس راديو يورنس (Pseudomonas = radiodurans) الكاذبة الضخامة المقاومة للاشعاع) ازدهارها في مجرى النيوترون (neutron flux) عند بواطن المفاعلات الذرية لاحواض السباحة.

نحن ننزع الى الاندهاش من هذا التنويع الرهيب للحياة على الارض، انما تحت هذا التنويع المتضارب الخارجي توجد اشتراكية عظمى. فقد أماطت التقدمات المحرزة في البيوكيمياء اللثام عن ان جميع المنظومات البيولوجية تستخدم في الاساس نفس العمليات لاداء وظائفها كمتعضيات ذاتية الادامة . تشتمل حوامض النوويك والبروتينات على أهمية مركزية مطلقة لجميع العمليات الحياتية ، والوحدات الفرعية لهذه البيوبوليمرات هي نفسها لجميع المتعضيات، وحتى الكيمياء المجسمة ، أي يمينية أو يسارية الجزيئات البيولوجية ، هي نفسها في الكافة . كما يوجد ايضا صنف رئيس من المركبات تستخدمها جميع اشكال الحياة لنقل الطاقة الكيميائية ، وهذه العوامل هي فوسفات النووتيد (nucleotide phosphates) . أما البورفيرين، وهي المركبات الدائرية التي تشكل النواة النشيطة للهيموغلوبين، والكلوروفيل، والسيتوكرومات ، فهي مقومات متواجدة في كل شيء. لكن ما هو أعجب من كل هذه بأجمعها هو التشابه في ترجمة معلومات حامض النوويك الى بنية البروتين. وقد تبين، منذ أن تم فك رموز المدونة الجينية في السنوات الستينية



من هذا القرن العشرين، ان لغة الوراثة هي نفسها لجميع الكائنات الحية . كل هذه المشتركات والعديد غيرها، ولاسيما حيث لا تتواجد أية فائدة انتقائية بارزة ، تشير بقوة الى أن جميع أشكال الحياة على الارض هي سلالة جد سلف واحد مشترك.

لقد أصبحت الحياة ، منذ نشأتها من سلف سابق مجهري بدائي، معقدة على نحو رهيب. لقد وجد ان وزن الدنأ في الثدييات يبلغ (٥ر٦×١٠$^{-١٢}$) غرام. فاذا كان زوج من النووتيد يزن(٠٣ر١×١٠$^{-١٢}$) غرام فان مقدار الدنأ في كل خلية ثديية يبلغ ما يعادل ثلاثة آلاف ومائتي (٣٢٠٠) مليون زوج من النووتيد . وباعتبار ان معدل طول البروتين يبلغ خمسمائة (٥٠٠) حامض اميني، وهو يعادل جينة ذات الف وخمسمائة (١٥٠٠) زوج من النووتيد، فان كل مخلوق ثديي يملك مليونين ومائة الف (٢١٠٠ ٠٠٠) جينة[1]. وقد اقترح آرجيه برتن (R.J. Britten) وديءاي كوهنه[2] (D.E. Kohne) ان اربعين بالمائة (٤٠٪) من الدنأ يتألف من سياقات تتكرر ما بين عشرة آلاف الى مليون (١٠٠٠٠-١٠٠٠ ٠٠٠) مرة . وهذه امتدادات طويلة من الدنأ التي لا تدون لسياق من الحوامض الامينية أو جزيئات الرنأ وانما تعمل على فصل الشدف المعلوماتية في الجزيئة . وبعد طرح هذه التكرارات، يظل يبقى لدينا مجال لما يبلغ مليون ومائتين وخمسين الف (١٢٥٠ ٠٠٠) جينة مختلفة في صبغوسومات كل نوع من انواع الثدييات. فبأية طريقة امكن نشوء مثل هذه التعقدية في عملية تحت التحكم والسيطرة خلال ثلاثة آلاف وخمسمائة (٣٥٠٠) مليون سنة؟

تواتر تعقيد متواز بعد تطور المنظومات المتعددة الخلايا ، عندما تطورت المتعضيات الاحادية الخلية الى متعددة الخلايا ، تمكنت الخلية الواحدة من اطلاق اعداد فلكية من النسخ. ان الخلايا التي تشكل جسم الانسان مشتقة



من بويضة مفردة انقسمت الى ٢ ثم ٤ ثم ٨ ثم ١٦ وهكذا دواليك بالمتوالية الهندسية (geometric progression) لتكــون الشخص الكامل. ومهمــا يبدو لا معقولا فان الخلية المفردة الواحدة تحتاج الى احدى واربعين (٤١) انقسامة لتصبح عشرة ترليون (٠٠٠ ٠٠٠ ٠٠٠ ١٠) • وهــذا هو الترليون الامريكي ويساوي بليون بالحســاب الانكليزي الالماني حيث الترليــون يتألف من واحد تتبعه ثمانية عشر صفرا)•

والمتوالية الهندسية وسيلة فعالة للغاية لبلوغ الارقام الهائلة الضخمة ، وقد اكتشف التشوئيون الجزيئيون ان الآلية الرئيسة في النشأة هي تضاعف الجينات من خلال التحول الفجائي او التبدل الطفرة • ومع كل تضاعف يمكن لاستبدال واحد من الحوامض الامينية في نسخة واحدة ان يضيف بروتينا جديدا. وبهذه الطريقة نشأت اعداد من البروتينات مختلفة في الوظيفة كالزلال اللبني من الحليب (lactalbumen) وانزيمة الليسوزيم (lysozyme) من نفس الجينة. كان تضاعف المادة الجينية ليكون حادثة نادرة • مع ذلك، ان تضاعف جينة مفردة الى مليون وستمائة الف (٠٠٠ ١٦٠٠) بالمتوالية الهندسية كان لا يتطلب أكثر من (٢١) تضاعفا متواليا منذ بداية الحياة على الارض، أو على فترات معدل طولها مائة وثمانية وثمـانون (١٨٨) مليون سنة.

لم يكن مسار التعقدية مستقيما سويا تماما كالمتوالية الهندسية لجينة مفردة. فقد تدخلت اعتبارات أخرى في التبدل الطفرة والنشأة، ويفترض ان الخلية الاولية تألفت من حشد من المواد البوليمرية الصغيرة وليس من جينة مفردة واحدة • كما ان تدرج السلم الزمني ليس مؤكدا لأن الجينات لم تتطور الى الحجم الاكبر وانما الى الحجم الامثل للانزيمات • ان تناسخ جينومة كبيرة (مجموعة الجينات المؤتلفة) كان سيعني تناسخا واسعا متماديا

للمادة الخلوية بنسخ متعددة من البروتينات المماثلة مدخلة أحوالا كان من شأنها أن تكون أكثر فائدة للحياة الاولية مما لاشكالها اللاحقة • مع ذلك، أن تضاعف الجينات مع التراكم اللاحق لنقطة التبـدلات الطفرة كان على ما يظهر الوسيلة الأشد فعالية وتأثيرا في بلوغ الحجم والتنوع، ويقينا قـد اشتملت بعض التناسخات العتيقة الجنومة ترمتها•

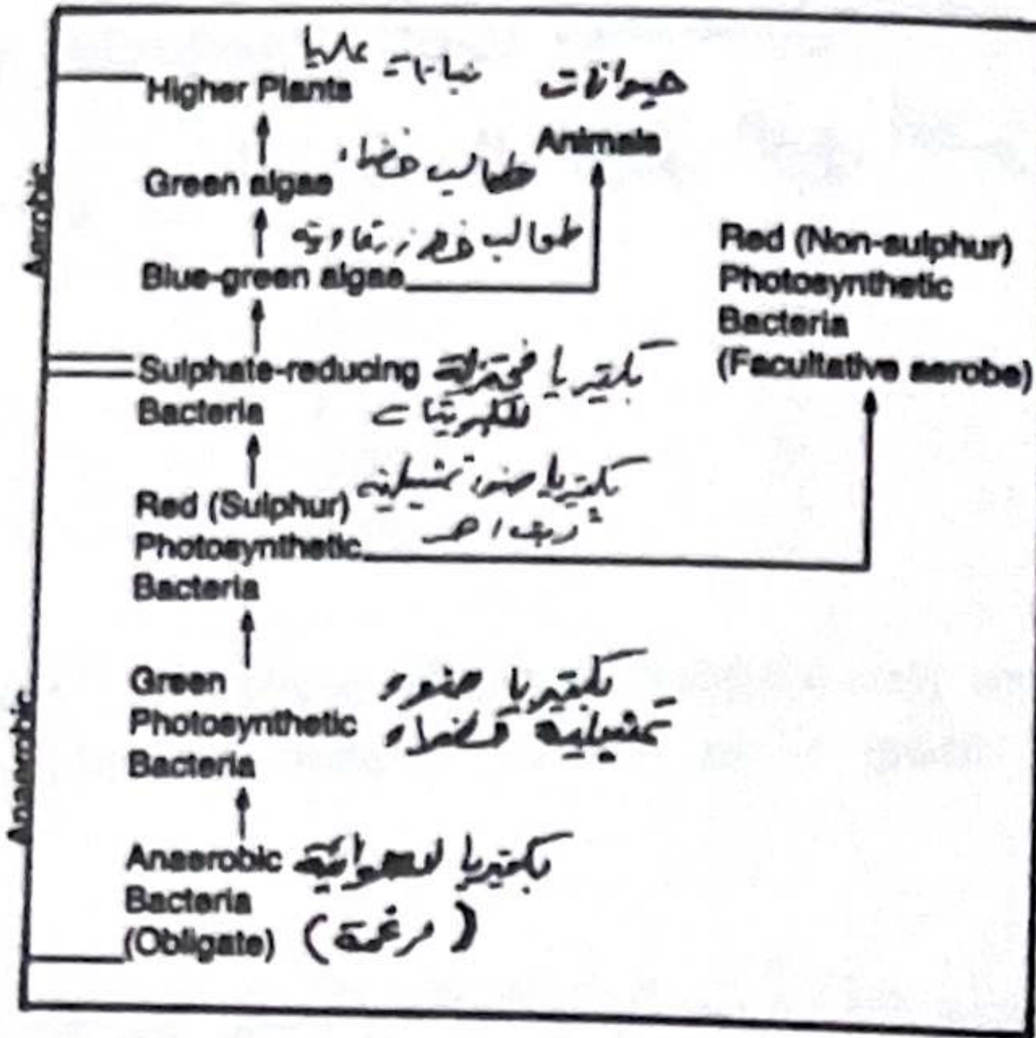
Table 15.1. Hypothetical doubling of a gene at 188-million-year intervals.

N²	Time (millions of years)	Number of genes
21	0	2,097,152
20	188	1,048,576
19	376	524,288
18	564	262,144
17	752	131,072
16	940	65,536
15	1,128	37,768
14	1,316	16,348
13	1,504	8,192
12	1,692	4,096
11	1,880	2,048
10	2,068	1,024
9	2,256	512
8	2,444	256
7	2,632	128
6	2,820	64
5	3,008	32
4	3,196	16
3	3,384	8
2	3,572	4
1	3,760	2
		1

الجدول ١/١٥ ـ التضاعف الافتراضي لجينة على فترات ١٨٨ مليون سنة.

وعند مقايسة الدنأ في كل فرد من تنويعة كبيرة من الثدييات تبين انه من نفس المقدار تقريبا. وبنـاء على ما تبديـه سلاسـل البيتا والديلتـا (beta, delta) للهيموغلوبين ، فقد حصل التناسخ ضمن السلالات الثديية في بعض السدف الصغيرة من الصبغوسومات ، انما لم يحصل تناسخ لاجمالي الدنأ برمته. ورغم ان الثدييات ربما تملك نفس القدر من الدنأ كصنف، ألا انها تملك زهاء اربعة اضعاف القـدر الموجـود في الحبليات الاوليـة (protochordates) وبعض الاسماك. يظهر انه حصل تناسخ الجنومة برمتها مرتين في اثناء النشأة من الحبليات الأولية الى الثدييات. حصل التناسخ الاول في زمن ما قبل حوالي اربعمائة وخمسة وستين (٤٦٥) مليون سنة مضت، عندما تطورت الفقريات الأولى من الحبليات البدائية أما تناسخ الجنومة للمرة الثـانية فقد حصـل اثنـاء نشأة الزواحف الاولى أو في مـا قبل الزواحف حوالي ما قبل ثلاثمائة وعشرين (٣٢٠) مليون سنة خلت.

توضح قضية الفريدوكسين بجلاء الطريقة التي نشأت بها الانزيمة من بنية اكثر بساطة. ان الفريدوكسينات بروتينـات لاهيميـة ((nonheme) تتضمن الحديد وجدت في البكتيريا والطحالب الخضرزقاوية والخضـراء اللاهوائية والضوء تمثيلية، وايضا في النباتات الاعلى. وهي تشارك بمثابة حاملات الالكترون في تنويعة واسعة من العمليات البيوكيميائية بما فيهـا عمليات التمثيل الضوئي وتثبيت النيتروجين واختزال الكبريتات والتفاعلات الهيدروجينازية ، وتفاعلات أخرى مؤكسدة اختزالية.



الشكل ١/١٥ — النشوء التطوري للفريدوكسينات

Figure 15.1. Evolutionary development of ferredoxins.

تبلغ سلاسل البولي هضميتيد في فيريدوكسينات النبات باحتوائها على خمس وخمسين (٥٥) فضلة من الحوامض الامينية تقريبا ضعف طول تلك الموجودة في البكتيريا اللاهوائية ، بينما يأتي فريدوكسين الكروماتيوم ، وهي بكتيرة ضوء تمثيلية ، وتوسطا بين الطرفين. ثم ان صلة النسابة واضحة تماما نصفي الفريدوكسينات البكتيرية . يبدو ان جميع الفريدوكسينـات مشتقة من التناسخ المتكرر للسياق البدائي لأربعة حوامض أمينية ، بما فيها

من الحذوفات واستبدالات الحوامض الامينية • حصل تضاعف في طـول الجينة في السلالة البكتيرية التي نشأت مباشرة قبل تشعب الكروماتيـوم، ثم تضاعف آخر مستقل عن التضاعف البكتيري الذي أفضى الى فريدوكسين النبات(٣)•

Table 15.2. Composition of *Dialister pneumosintes*.

	(Grams × 10^{-14})	(Daltons × 10^{8})	Percent
Dry Weight	2.80	160	
DNA	0.13	7.8	4.66
RNA	0.30	18	10.33
Protein	1.20	72	43.00
Carbohydrate	0.47	28	16.45
Lipid	0.16	37	21.70

Note: A weight of 0.13 × 10^{4} grams of DNA is equivalent to 6.5 × 10^{8} daltons (one dalton is the molecular weight of one, or 1 gram is approximately 6 × 10^{23} daltons).

Table 15.2. Composition of Dialister pneumosintes.

	(Grams × 10^{-14})	(Daltons × 10^{8})	Percent
Dry Weight	2.80	160	
DNA	0.13	7.8	4.66
RNA	0.30	18	10.33
Protein	1.20	72	43.00
Carbohydrate	0.47	28	16.45
Lipid	0.16	37	21.70

Note: A weight of 0.13×10^{4} grams of DNA is equivalent to 6.5×10^{8} daltons (one dalton is the molecular weight of one or 1 gram is approximately 6×10^{23} daltons)..

الجدول ٢/١٥ ـ تركيبة الديالستر نيوموسنتيس

نشأت الحياة وتطورت من البسيط الى المعقد مستحثة الى ذلك بالتميز التافسي للمتعضية الاكثر اقتدارا أو الطريقة البيوكيميائية الاكثر فعالية التي ظهرت من خلال التبدل الطفري• وهذا بالذات هو ما يغرينا ويدفعنـا الى البحث عن المتعضيات الاكثر بساطة كنماذج للحياة الاولية • وفي هذا الاسلوب فائدة قيمة لأنه يوجد حيا اليوم ما يمثل العديد من مراحـل النشوء طوال مسيرة الحياة قاطبة • غير انه يتوجب اتبـاع هذا الاسلوب بحذر لأن جميع الحياة المعاصرة لها سلالة أسلاف متساوية في الطول• ورغم ان المتعضيـات المجهرية الاشكال الابسط للحياة فانها ليست الاشكال البدائية للحياة ؛والبنى الانزيمية والعمليات التآيضية التي تشاركها البكتيريا معنا ليست أقل قدرة وتعقدية من التي لدينا بالذات • ونحن نختلف لأن كلا منا قد تطور لاستغلال جانب مخالف من البيئة التعايشية•

ورغم ان المقومات البوليمرية ربما تكون متساوية في تطورها، فاذربازة

(architecture) البروكاريوت ابسط بقدر كبير منها في الخلايا اليوكاريوتية ، كما توجد سمات أخرى تقدم المبررات الكافية للاعتقاد بأن البروكاريوت جاءت قبل اليوكاريوت . ولوضع الامور في المنظور ينبغي علينا أن نتفحص التركيبة للبروكاريوت . ان البكتيرة دياليستر نيوموسنتيس (dialister pneumosintes) ، على سبيل المثال ، تملك القياسات ٤ر٠-٦ر٠ ميكرومتر عرضا و ٥ر٠-٠ر١ ميكرومتر طولا . ولما كان الميكرومتر يساوي ١/١٠٠٠ من المليمتر ، فان هذه البكتيرة تبلغ من الصغر ما يمكن معه وضع مائتين وخمسين (٢٥٠) الفا منها في النقطة الواقعة في آخر هذه الجملة . مع ذلك، فان أمر مقايسة تركيبتها الكيميائية واحتساب بنيتها القوامية من السهولة بمكان.

يمكن استنتاج الكثير من تركيبة المتعضية . بما انه يجب أن يتضمن الدنا المزدوج الوهن تقريبا عشرين (٢٠) ضعف وزن البروتين الذي يقوم بتزويده بالمعلومات ، فان (٥ر٦×$١٠^{٨}$) وحدة كتلة ذرية من الدنا ستحمل المعلومات لامداد (٣ر٣×$١٠^{٧}$) وحدة كتلة من ذرية البروتين ، وباعتبار أن معدل الوزن الجزيئي للبروتين يبلغ (٤٠٠٠٠) (أربعين الفا) اذن لابد انه يوجد (٨٠٠) جزيئة من البروتينات المختلفة في الخلية الواحدة للبكتيرة ديالسترة فاذا كانت جميع البروتينات هي انزيمات، اذن لجزيئة مفردة بالتفاعل الواحد، تستخدم الخلية ثمانمائة (٨٠٠) تفاعل لكي تكون منظومة وظيفية ذاتية الكيان . وعليه، فلربما ان البكتيرة تستخدم عدة مئات من التفاعلات . وهذا يبدو رقماً معقولاً، لأن البكتيرة الاكبر ايشريشياكولي (E. Coli) ، وهي المتعضية المجهرية المدروسة على اوسع نطاق، قد كشفت لحد الآن عن خمسمائة (٥٠٠) تفاعل بيوكيميائي تم التعرف عليها(٤).

وبالرغم من صغرها الضارب ، فانها ليست الخلايا الذاتية الكيان

الأصغر . ان أصغر الخلايا الطليقة العيش المعروفة هي المتعضيات الشبيهة بالبلورونيومونيا (PPLO=pleuropenumonia) المسماة بالميكوبلازما (mycoplasma) . هذه المتعضيات تسبب امراضا خطيرة في الاغنام والماعز والدجاج والدجاج الهندي وتتواجد كنباتات رميمة او رمامات غير مؤذية (saprophytes) في الاغشية المخاطية للحيوانات والانسان ، وايضا في كساحة البلاليع والمجاري وفي التربة . وبينما تملك الاميبا (amoeba) كتلة من (٥×$١٠^{-٧}$) غرام، يبلغ وزن PPLO (٥×$١٠^{-١٦}$) غرام ويقع طولها في حوالي (١ر٠) ميكرومتر ، ويمكن رؤيتها فقط بمجهر الكتروني.

وبسبب حجمها تتسع الـ PPLO لما يقرب من مائة (١٠٠) انزيمةفقط . وهذه المتعضيات تنمو ببطء شديد . على ما يظهر تعيش هذه المتعضيات في بيئة حيث يردها بلا عناء العديد من المقومات اللازمة التي يتحتم على المتعضيات الاكبر تمثيلها. رغم ذلك فان ال PPLO متعضيات تامة الوظيفية والتكاثرية التي لا تستطيع العيش على اكثر من، وربما اقل بكثير، مائة (١٠٠) تفاعل بيوكيميائي. ولو تواجدت بيئة تتضمن جميع لبنات البناء اللازمة ومصادر طاقة من قبيل الأتب، فانه يمكن أن تكون المتعضية الوظيفية أصغر الى حد بعيد وابسط حتى من الـ PPLD . وفي الحقيقةان باطن الخلية يمثل مثل هذه البيئة وهذا هو كون الفيروسات اصغر.

غير ان الفيروسات ليست متعضيات ذاتية الادامة ولا يمكن اعتبارها نوعا من الحياة ، وينبغي عدم النظر اليها كبدائية وانما بالاحرى كشكل بالغ التعقيد من الطفيلية ، ذلك لأنها هي ايضا من نتاج نشأة عمرها ثلاثة آلاف وخمسمائة مليون سنة . ولا تبدو الفيروسات بأنها الناتج النهائي لنشوء من بنية ابسط، بل هي أما مشتق منحرف لخلية او ناتج مسيخ لأحداشكال الحياة الاعلى. (ملاحظة : فيحوالي($١٠^{-١٨}$) وحدة كتلة ذرية تبلغ الفيروسات

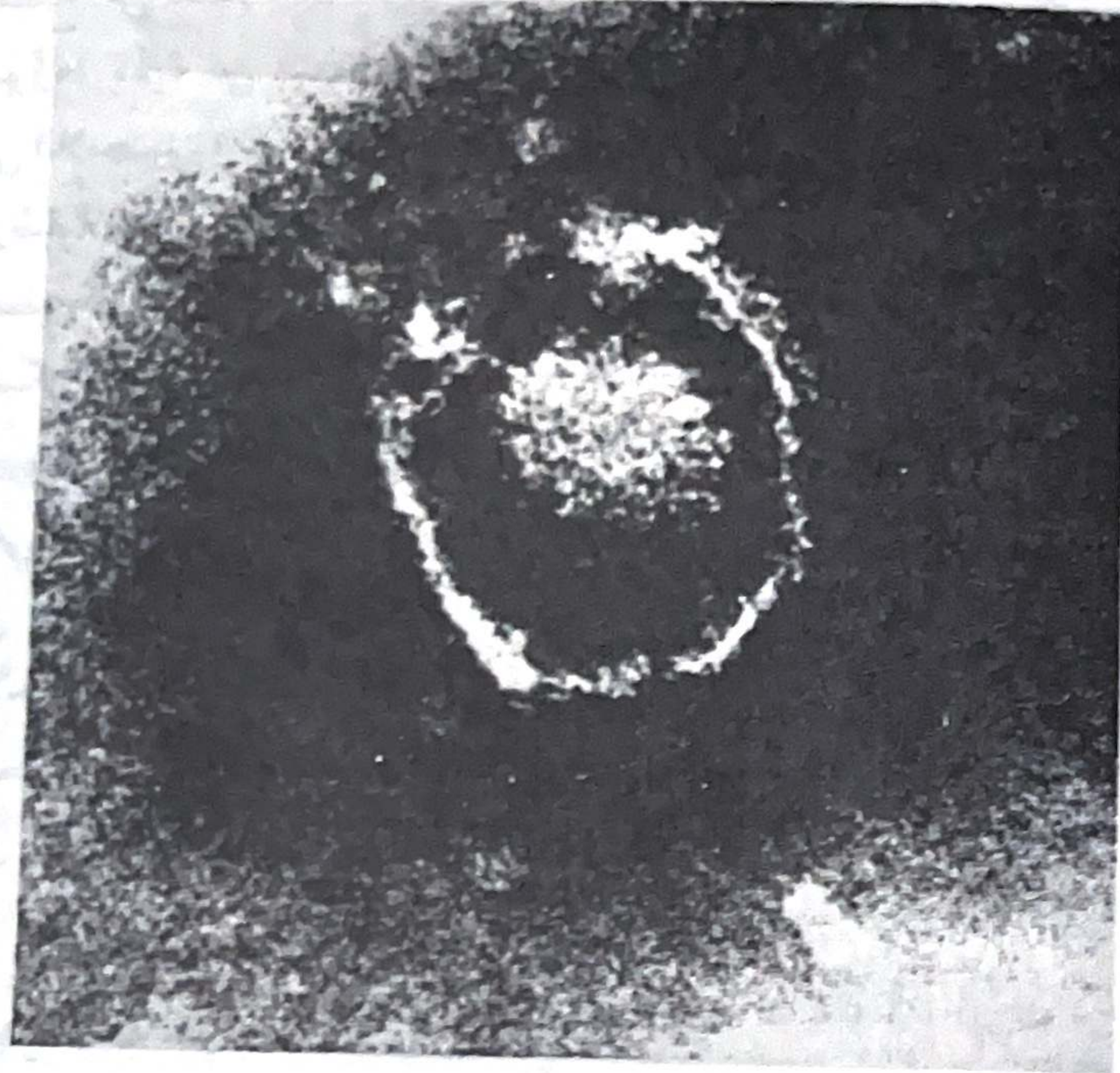
حوالي جزء من عشرة ملايين جزء من حجم الاميبا (يذكر الاصل

١٠٠
______
١٠٠٠٠٠٠٠٠٠٠٠

أو مائة جزء من الف مليون). وعليه فان الاميبا بعيدة بالحجم عن الفيروسات كبعدنا بالحجم عن الاميبا).

ان الفيروسات هي ابسط المتعضيات، انما يوجد صنف آخر يقع بين البكتيريا والفيروسات. وهذه هي الريكتسيا (rickettsiae)، وهي، كالفيروس، طفيليات تتكاثر فقط في الخلية المضيفة، انما هي أقرب الى البكتيريا من حيث الحجم والتعقدية والقدرة التآيضية. تسبب الريكتسيا امراضا عديدة منها التيفوس الوبائيــة والحمى المرقطــة (Rocky Mountain spotted fever) ومن سماتها الملفتة للاهتمام شبهها بالميتوكوندريا. كلاهما يتضمن مكونات لدورة كريبس (Krebs) من التفاعلات، وكلاهما يستخدم (NADP)، ألا ان كليهما يعجز عن مواصلة اكسداته الاعتيــادية بعد تجميده في وسط ملح، انما يمكن وقايته من فقدان المناشطة باضافة الغلوكوز.

تفيد احدى النظريات ان الفيروسات نشأت كجينات مسيخة انحرفــت عن الخلية، وهذا التصور نابع من شدة نوعوية (specificity) الفيروس. انما النظرية الاكثر اغراء هي انه اولا الريكتسيا ثم الفيروس نشأت مـن البكتيريا، وفيما طور كل منهما منوالا طفيليا من الوجود كلاهما فقد القدرة الزيادة في تمثيل بعض الانزيمات اللازمة للمتعضيات الطليقة العيش.



الشكل ٢/١٥ - صورة ضوئية بالمجهر الالكتروني لجسيمة فيروس القوبــاء (فيريون). يحيط غلاف الفيروس بالنوكابسيدة (nucleocapsid) التي بشــكل العشريني الاسطح. والكبســوميرات (capsomeres) وهي مورفولوجية، هي الوحدات الفرعية للكابسيدة (capsid = علبية) ظاهرة. والشخط يمثل مائة (١٠٠) نانومترا. والصورة مكبرة مائتي (٢٠٠) الف مرة.

يبدي الانسان اندهاشه وبالغ اعجابه بكفاءة النباتات والحيوانات ويفصح عن الفكرة ان مثل هذه الخلائق هي بالحتم أحداث فريدة يتعذر نشوؤها بالمرة عن التفاعلات الطبيعية لوحدها . لكن الطبيعة ليست مبنية على اللامحتمل . فقد نشأت اشكال مختلفة من الحياة ، بنياتها وأجزائها الوظيفية بمثابة الاشكال الافضل من بين عدد كبير من الامكانات، أي ان العملية الانتقائية جعلت نشوءها محتملا في ظل الظروف القائمة . فقد ظهر الشكل الانسيابي للحركة البحرية العالية السرعة مع حيوان الستنوبتريجيوس (stenopterygius) وغيره من زواحف الدهر الوسيط او الميسوزوئي، ومع التونا وهي سمكة، والدولفين وهو ثديي. ونشوء هذا الشكل ثلاث مرات مستقلة عن بعضها وفي اشكال من الحياة لا صلة بينها لا يدل على صدفة نادرة ،بل بالاحرى على ان الدينامية المائية (hydrodynamics) تضم مجالا ضيقا من الحلول للمسألة . فالعين، التي تعتبر من الاعضاء العجيبة، نشأت مستقلة مرات عديدة مدللة على ان هذه البنية هي الحل الافضل للتسجيل البصري.

ان الاحتسابات التي تشير الى أن فرصة التجمع بالصدفة للتواليت القاعدية لأحد حوامض النوويك لها($١٠^{٨٧}$) طريقة مختلفة[٥]، أو ان الاحتمالية لتكون بروتين ذي وزن جزيئي قدره ستون الفا (٦٠٠٠٠) بفعل التكتل تبلغ واحدا (١) في ($١٠^{٦٠٠}$) عديمة المعنى. ذلك لأن تكون الحياة لم يأت صدفة ولم يكن غير محتمل. ومثل هذه الاحتسابات مصممة للتدليل على استحالة حصول الحياة في ظل الظروف الطبيعية ، وهي مبنية على الفرضية الخاطئة ان الحياة نمت وازدهرت بتمامها وبكل تعقيدها وتطورها كما في المتعضيات المعاصرة . لقد بدأت الحياة ببساطة وبطء وتطورت كنتيجة للبقاء التلقائي الجهازي بالالتئام بين المواد التي ملكت خاصية الاشتغال ونبذ كل ما لم يملك هذه الخاصية.

ان المنظومات المعقدة ، من الامبراطوريات الى البنى البيولوجية ، لا تظهر الى الوجود فجأة تامة بكل مراحل نموها وتطورها . انما بالعكس . يتحتم عليها بعد ظهورها ان تنمو بمراحل ، مع ترسخ كل مستوى ترسخا تاما مستقرا قبل التوجه الى المستوى أو العتبة الاعلى التالية . أي ان الحياة تطورت بدرجات او طبقات من البنى الكيميائية ، وكل درجة كانت بالتوالي أكبر وأكثر تعقيدا من سابقتها . وتضمنت وحدات كل درجة في بنيتها الكيميائية الوسائل اللازمة لخلق المرحلة التالية من تطورها.

تكثفت النووتيدات بالتدريج الى بولي نووتيدات، والحوامض الامينية الى بولي هضميتيدات، وتجمعت الجزيئات الضخمة لتكون خلية وظيفية. وبدورها امتزجت طبقة او درجة الخلية في نباتات وحيوانات متعددة الخلايا. وفي كل من مستويات او عتبات هذا الهرم اضطرت الوحدات الى الدخول في التئام ذاتي لتكوين المرحلة التالية الاعلى . انما هنا تكمن سمة بالغة الخطورة للتكوين . فاذا تناولنا خلية حية معاصرة وقمنا بتجريدها وتفكيكها ثم أعدنا تأليف جميع المقومات البيولوجية لها، سنجد انها لا تلتئم ثانية في خلية وظيفية . ولا يمكننا تفكيك نبات أو حيوان متقدم متعدد الخلايا الى خلاياه التكوينية ثم اعادة تشييد المتعضية الى وضعها الاول الاصلي. اذ يبدو ان الخاصية المسؤولة عن الالتئام الذاتي قد فقدت في هذه المرحلة من التطور.

وللوهلة الاولى يبدو لنا ان هذا ينقض المبدأ الاساسي تماما عند انطباقه على المستوى الذي تكونت الحياة فيه. لكننا قد رأينا ان المتعضيات المتعددة الخلايا تملك في المراحل البدائية من النشوء قوى الالتئام الذاتي، كما في الاسفنج واللاحشويات والاجنة في نموها الابتدائي. لقد كان في مرحلة لاحقة ، بعد أن قطعت المتعضيات المتعددة الخلايا شوطا في التطور،

ان اندمجت خاصية تنظيم وضبط هذه الخلايا المختلفة في بنية المطبوعة الجينية الشاملة فتطورت الخلايا معها في مرحلة شديدة النوعية لا شأن لها بالالتئام الذاتي.

ان ما يحصل هو أنه كلما تقدمت الوحدة في التعقيد كلما ازدادت نوعية علاقاتها الجزيئية الباطنية والبينية ، أي ببعضها البعض في باطن الجزيئة وبين جزيئة وأخرى، وعليه ما ان تتخذ صفتها الجديدة هذه بالارتقاء حتى تنخفض معها بالتناسب قدرتها على الالتئام على الوجه الصحيح ثانية ، وهنا لدينا انتزاع طبيعة الانزيمات كمثال باهر على هذا . تملك البولي هضميتيدات الصغيرة ، كالكيميائيات البوليمرية ، ترتيبة حيزية متسقة ومستقرة نسبيا . أما البروتينات ، من جهة أخرى، فانها تشغل الحيزتضاريس بنيوية معقدة وفي الغالب هشة ضعيفة تفرضها سياقات الحوامض الامينية والعديد من التفاعلات الباطنية.

تتخذ سلسلة البولي هضميتيد شكلها، في عملية التمثيل الحيوي للبروتين، اثناء نموها من الريبوسومة ، بالالتفاف والالتواء والانطواء على نفسها وتمسكها التفاعلات الباطنية اثناء تكون هذه مع البروتينة المنبثقة . وفي ظل البيئة الكيميائية للخلية يبقى التضريس الثلاثي قائماً. غير انه اذا جرى عزل البروتينة وتعريضها حتى الى تغييرات طفيفة في تركيز يدّ س او تركيز الملح، وايضا درجات الحرارة المرتفعة، فان القوى الضعيفة الممسكة بالبروتينة في تضريستها ستتعرض للتصدع. تقوم سلاسل البولي هضميتيدات باصلاح الترابط في الجزيئات وما بينها ولكنها تفقد توحدها لأن السلسلة التامة الآن تملك طرقا عديدة متاحة للتفاعل البيني. فاحتمالية اتخاذ البروتينة تضريستها الاصلية الآن ضئيلة كل الضآلة ، فيقال أن طبيعتها قد انتزعت ، وعندما تكون البروتينة انزيمة انشطتها متوقفة على نوعية

تضريستها يؤدي انتزاع الطبيعة الى ضياع النشاط الانزيمي(٦).

تكون احتمالية الالتئام الذاتي على أعظمها عندما تكون مكونات وربازة المنظومة البيولوجية صغيرة وبسيطة . فعلى سبيل المثال تملك الريبوسومات القدرة على الالتئام الذاتي، وقد تم تقليد واعادة تجميع الفيروسات أسفر عن الحصول على عدة نسب مئوية من المتعضيات المعاد تشييدها(٧). تنزع الطبيعة الكيميائية في العديد من المركبات البيولوجية الى التجمع في توليفات فوق جزيئية نوعية لحد ما ، والازدواج القاعدي للنوويتيدات التتميمية مثال على مثل هذا التجمع . مع ذلك، توجد تفاعلات اضافية أخرى، بما فيها الازدواجات القاعدية ، ممكنة ولكن المنظومات البيولوجية لا تستخدمها. وربما كانت بعض من هذه جزءا من الخلايا الاولية ولكنها نبذت لكونها أقل فائدة من غيرها التزمت بها المتعضيات . غير انه لا ريب ان الالتئام الذاتي الابرز يتمثل في التحفز التلقائي لدى الدهنيات نحو تكوين البنية.

ان الشرط الادنى لتكوين الخلية البدائية هو الصلاحية الكيميائية في المكونات المتعاشرة مع التنظيم الملائم لاداء وظيفة التناسخ في الخلية . وكانت الاحتمالية على اقواها لهذا الغرض في الخلايا ذوات المكونات الاقل عددا والاصغر حجما مع احتفاظها بوظيفتها. كانت الاستحالات البيوكيميائية لتكون بطيئة ومنخفضة الفاعلية ولكنها لم يوجد أمامها ما ينافسها ولم يكن لها عدو غير الانحلال. والعتبة التي تحتم على المنظومات الحية الابتدائية عبورها كانت قدرتها على النمو والتكاثر بوتيرة اسرع من الانحلال أو الحلمأة ، وما ان عبرتها حتى عجلت الخلية تطورها بالتبدل الطفري الى قدرة متزايدة ابدا، وورث سلالة هذا الشكل الناجح الأول من الحياة الارض .

وكشهادة على البداية البسيطة للحياة هي أن تعقدية المتعضيات المتقدمة

قائمة على عدد من المواد مدهش في قلته • ومن بين آلاف الملايين من المركبات العضوية المحتملة تستخدم الحياة المعاصرة على الارض اقل من الف وخمسمائة (١٥٠٠) منها، وهذه الالف وخمسمائة مشيدة من اقل من خمسين (٥٠) لبنة لبناء جزيئية بسيطة.



الفصل السادس عشر ـ جوهريات الحياة

هل تملك الحياة كيميائية فذة لاءمتها ظروف فريدة تواجدت في الارض البدائية قبل أكثر من ثلاثة آلاف وخمسمائة (٣٥٠٠) مليون سنة خلت، أم كانت الحياة نتيجة لابد منها في الاحوال الجيولوجية العادية ؟ لتتسنى الاجابة على هذا السؤال يقتضي بنا أن نحدد ونتتبع المكونـات التي كانت ستلزم لتكوين خلية حية وظيفية • بالتثبت من المتطلبات اللازمة الصرف للمنظومة البيولوجية نستطيع أن نفهم الاحوال النوعية التي كانت ضرورية لنشـأة الحياة على الارض.

عند تفحص التركيبة الكيميائية للكائنات الحية لا نجد غير العنـاصر العادية ، اذ من بين اثنين وتسعين (٩٢) عنصرا طبيعيا يوجد فقط اربعـون (٤٠) منها في النباتات والحيوانات ، ومن هذه فقط ثماني عشرة (١٨) لازمة اعتياديا. ومن بين الستة والثلاثين (٣٦) عنصرا الموجودة في الجبيلة الاولية أو البروتوپلازمة تشكل اربعة (٤) منها فقط ثمانية وتسعين بالمائة (٩٨٪) من مجموع التركيبة الكلي • توجد مقادير صغيرة من الفوسفور ، والكبريت، والصوديوم، والكلورين ، والكلسيوم، والمغنيسيوم، والبوتاسيوم، مع آثار للمعادن من حديد، وبورون ، ومـوليبدنوم، ونحـاس أحمـر، وكوبالت، وزنك، ومنغنيز، تمثل بمجموعها أقل من واحد بالمائة (١٪). ولاتوجد أية عناصر نادرة او غير عادية بينها.

ان الكربون والهيدروجين والنيتروجين والاوكسجين التي تسـود في المنظومات البيولوجية هي، باستثناء الهليوم، العناصر الاربعة الاكثر غزارة في الكون. والكربون والهيدروجين والنيتروجين والاوكسجين ليست فقط هي من بين العناصر الاكثر تواجدا في الكون، بل انها ايضا تحتوي على خواص كيميائية متميزة عن غيرها لدرجة انها فريدة في ادوارها كعناصر جوهرية • ان



اوزانها الذرية منخفضة وتشكل عددا من المركبات العادية المستقرة والمتطايرة، ولهذا السبب أصبحت هذه العناصر الاربعة مركزة في الغلاف الغازي والمائي الذي يغشي سطح الارض.

Table 16.1. Volcanic gases.

Steam	H_2O	
Carbon dioxide	CO_2	
Nitrogen	N_2	
Sulfur dioxide	SO_2	
Hydrogen	H_2	
Carbon monoxide	CO	
Chloride	Cl_2	
sulfur		↓
Hydrogen sulfide	H_2S	Amounts
Hydrochloric acid and other acids	HCl	Decreasing
Volatile chlorides of iron, potassium, and other meals		

الجدول ١/١٦ ـ الغازات البركانية

نشأت الحياة من جملة المتطايرات المنتفثة من باطن الارض ، تكثفت وتراكمت لتشكل الجو والبحار ، وبدون التطور الجيولوجي للارض لم تكن الحياة لتتكون على سطحها ابداء وليس فقط دوران الارض حول الشمس في نطاق ضيق مع هوامش من بضع نسب مئوية لاتاحة قيام الاحوال التي أدت الى ظهور الحياة ، انما لو كانت الارض أصغر حجما بقدر، مثل القمر ، فان أي جو يظهر لها كان سيفلت من الجاذبية الضعيفة . لكن الاكثر من كل ذلك، في النسبة الاكبر للسطح الى الحجم كانت الحرارة من النويدات (nuclides) المحتبسة ستتبدد الى الفضاء الخارجي ولا تتراكم لتكوين البراكين، ولم تكن منطقة الصهارة (magma) لتتكون، ولم يكن باطن الارض ليتباين في طبقات مختلفة متداخلة ، وكان سيتعذر انتفات المتطايرات الزائدة



الى السطح لتكوين الجو والبحار . وبدون كل هذه لم تكن الارض لتولد الحياة ابداء (ملاحظة: nuclide ، وربما تصلح «نويدة» تعريبا لها، هي صنف نوعي من الذرة لها متوسط عمر قابل للقياس).

للكاربون خاصية لا يستغنى عنها وهي قدرتـه على تكويـن روابط كيميائية ليس فقط مع عدد كبير من العناصر الاخرى، انمـا ايضا مع ذرات كاربونية أخرى. توجد بعض العناصر الاخرى تشارك في خاصية تكوين الترابط التسلسلي أو التعاقبي (concatenation) هذه، انما لمجـال محدود فقط. فمن خواص الكاربون هي قدرته على التـرابط في سياقـات طويلة بروابط مفردة وثنائية وثلاثية وتشكيل مركبات حلقية او الدخول في عدد هائل من التوليفات أو الالتئامات مع عناصر أخرى. يقدر عـدد مركبـات الكاربون المعروفة الآن بأكثر من مليون ونصف المليون (١٥٠٠ ٠٠٠). وهذه التنويعة الرهيبة للريازة الكاربونية هي التي وفرت التعقيد اللازم لاتاحة تفاعل الخواص الكيميائية والفيزيائية الذي يصنع الكيـان البيوكيميـائي الذاتي الادامة.

ان احدى خواص المنظومات الحية التي تميزها عن الجماد هي قدرتهـا على التكاثر ، ومع كون الطبيعة الفطرية الجوهرية للخلية نزعتها الى تشييد المكونات الكيميائية والفيزيائية في بنى، فاننا هنا في المقام الاول ازاء الجزيئات التي تتكاثر تلقائيا. لقد تم الوقوف على طريقة تناسخ حوامض النوويـك وكيفية تمثل سياق النوويتيدات الاربع في رسالة مرموزة يمكن ترجمتها الى سلسلة من الحوامض الامينية في عملية تمثيل البروتينات . يكمن أساس الحياة في الخاصية الفذة للحوامض الامينية المتمثلة في نزعتها الى التناسخ.

يتمثل الدور الاساس لحوامض النوويك في العمل بمثـابة مطبوعـة (blueprint) مستقرة نسبيا لتشييد المتعضيات ، ولكي تتمكن من اداء هذه

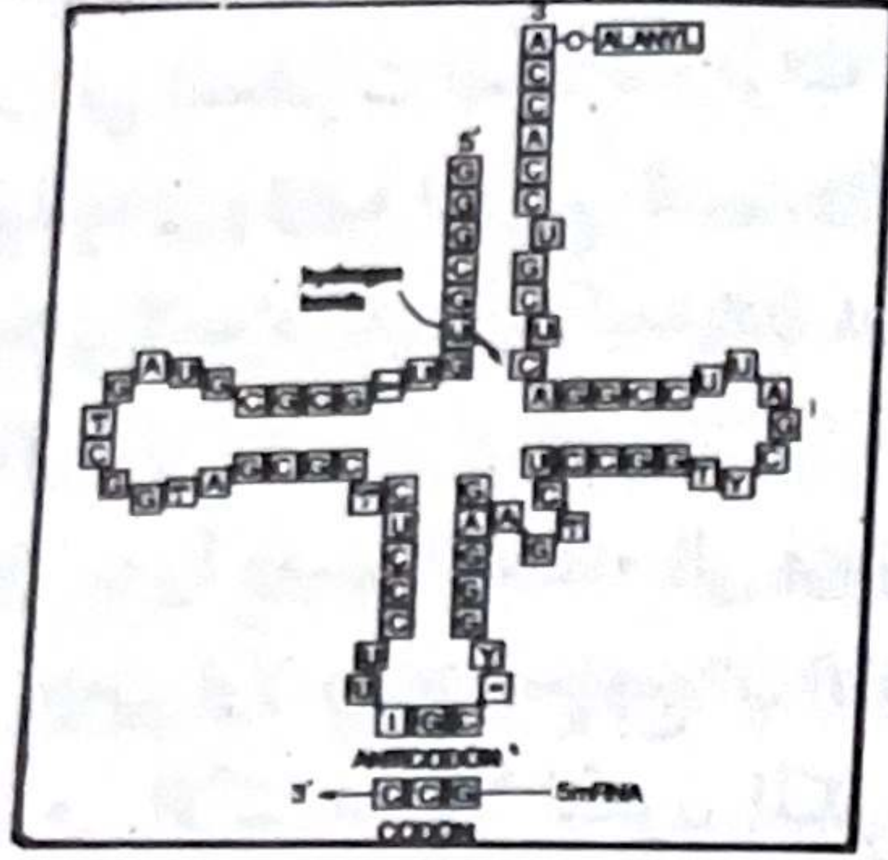


الوظيفة يتوجب أن تبلغ من الكبر ما تتمكن معه من حمل المدونـة لبنـاء هضميتيدة، ولما كان كل حامض اميني يستلزم ثلاث نوويتيدات ، فان حجم البروتينات الاولية المفترض هو الذي سيحدد المتطلبـات من الحـوامض النوويك. فاذا كان الفريدوكسين قد بدأ بهضميتيدة طولها اربعة حوامض امينية ، كما هو المعتقد الآن، فأن حامض النوويك اللازم كان، بناء على ذلك، ليكون في الاقل اثنتي عشرة (١٢) وحدة فرعية في الطول.

والدور الثاني لحوامض النوويك هو العمل بمثابة الرنأ الناقلة . فأنه ستمس الحاجة الى مسلسل من جزيئات الرنأ الناقلة لنسخ حامض النوويك المدون أو الرموز وترجمة تركيبته الى سياق من الحـوامض الامينية . في المتعضيات المعاصرة يوجد رنأ ناقلة لكل من الحوامض الامينية العشرين.

تمكن روبرت هولي (Robert Holley) والعاملون[1] معه من التثبت ان سياق النوويتيد للرنأ الناقلة للالانين يتألف مـن بولي نوويتيدة لهـا خمس وسبعون (٧٥) وحدة فرعية يمكنها الانطواء الى الخلف على نفسها وتتعلق في ترتيبة بشكل ورقة البرسيم بالاربطة الهيدروجينية بين القاعدتين المتنامتين المتقابلتين . وقد تم منذ ذلك الحين التثبت من سياق زهـاء خمس وسبعين (٧٥) جزيئة مختلفة للرنأ الناقلة. يتراوح عدد الوحدات الفرعية ما بين (٧٤) و(٩١) وجميعها تشكل نفس تضريسة ورقة البرسيم في العموم[2].





الشكل ١/١٦ - تضريسة ورقة البرسيم للرنأ الناقلة (الرنأ الناقلة للالانين

يبدو ان الحجم الاقصى اللازم للنوويتيدات المبلمرة لتعمل كرنأ ناقلة ليس ترتيبة ورقة البرسيم التامة وانما في الاقل السلسلة مطوية خلفيا على نفسها لتشكل عروة أو انشوطة دبوس الشعر (hairpin loop) لتوفر المجال للكودونة المضادة عند المنعطف . وبما أن نوعية الحوامض الامينيـة للرنأ الناقلة كانت لتنشأ في زمن مبكر فلربما ان جذوع الرنأ الناقلة الابتدائيـة المتطلبة للعروة الجانبية لورقة البرسيم كانت بنفس طولها اليوم تقريبا ، مما يضع الحد الادنى لحجم سلسلة النوتيد في حوالي اربعين (٤٠) وحدة.

لابد أن تناسخ حوامض النوويك كان قد بدأ قبل عملية التمثيل الحيوي للبروتين اثناء نشأة الحياة ، وبالنظر الى النوعوية العالية والتشابه الشديدفي بنية الرنأ الناقلة، فلربما أنها كلها منحدرة من جزيئة سلف مفردة واحدة.



انه لمن السهل الرؤية أن الجزيئات الضخمة كانت قد سبقت الخلية الحية الاولى في الظهور • انما عند تأمل الآلية التي تتكون بها حوامض النوويك والانزيمات في المتعضيات المعاصرة ، يواجه المرء معضلة • فحوامض النوويك تحمل المعلومات والآلية لتصنيع نفسها والانزيمات انما الانزيمات هي المحفزات للتفاعلات لاعداد كليهما • كيف اذن امكن أن تكون أي منهما بدون تواجد كليهما؟

هذا السؤال كان محيراً وقسم العلماء الى فريقين، فريق يعتقد ان حوامض النوويك[٣] جاءت اولا وفريق يحاجج ان الانزيمات او جزيئات ضخمة شبه الانزيمات هي الاكثر احتمالا لتكون المكونات الاصلية[٤]. ليتسنى تشييد أصل عقلاني لمنظومة بيولوجية يلزم أما ايراد البراهين على ان الانزيمات (أو بدائل مناسبة) كانت قد امكن انتاجها لا حيويا ، او أن يملك المرء القدرة على شرح كيف تمكنت منظومة بيولوجية من بدء الحياة بدونها.

ان الاساس الجوهري للكائنات الحية هو النمو وادامة الذات ببناء الجزيئات • تقوم هذه بتمثيل وترصيص الجزيئات الضخمة من وحدات أصغر، وهذه عملية تستلزم لقيما من الطاقة. تبلغ الطاقة السائبة المحررة في حلمأة زردة هضميتيد من جزيئة بروتينية ما بين اثنين الى اربعة (٢-٤) كيلوسعرة (kilocalorie) بالمولة ، ومعنى هذا هو ان ربط كل حامض اميني بسلسلة الهضميتيد في عملية تمثيل البروتين تستلزم (٢-٤) كيلوسعرة . وعملية بلمرة النوويتيدات تحتاج الى كمية مماثلة.

وأحد السبل لسد هذا الطلب من الطاقة لتكوين اربطة كيميائية هو رفع درجة الحرارة فوق نقطة غليان الماء والى ارتفاع يجعل الطاقة الحرارية في المتفاعلات أو العوامل المتفاعلة تتجاوز الطاقة المطلوبة لتكوين الترابط الاسهامي للهضميتيد • لكن فيما تزداد الجزيئات تعقدا لمنظومة بيولوجية



تلعب التفاعلات الاضعف أو الاقل شدة دورا رئيسا في ادامة الريازة المتصاعدة، وتصبح البنية اكثر حساسية للفعل التمزيقي للطاقة الحرارية في تجاوزها للطاقة الكيميائية في هذه الاربطة.

لهذه الاسباب استنبطت المتعضيات طريقة بالغة الانتقائية والضبط لتوريد الطاقة اللازمة لتسيير عملياتها. ليتسنى تحويل تفاعلات التمثيل التصاعدية الى تفاعلات تلقائية نزولية تقوم المتعضيات بتنشيط احد المتفاعلات بمشتق عالي الطاقة ، وهذا يتطلب متفاعلا ثالثا يتضمن خزين طاقة أعلى ليتمكن من ترحيل بعض من طاقته وانزالها الى المتفاعل للتنشيط.

ان استخدام الطاقة الحيوية (bioenergetics) لدى الخلية الحية يشبه في الجوهر استخدام مصنع للطاقة الكهربائية • يجري تحويل الطاقة الحرارية من الفحم المحترق الى طاقة كهربائية في مولدة وتنقل الى البيوت حيث يجري تحويلها الى حرارة وحركة • في هذه العملية ، تستهلك كمية من الطاقة لتوليد الكهرباء أكثر مما يمكن ابدا استرجاعه. وبنفس الطريقة تقوم خلية النبات بالتقاف طاقة ضوء الشمس وتحولها في مركبات خاصة الى الأجزاء الأخرى في الخلية ، وتستعيد الطاقة لبناء الاربطة الكيميائية.

ومشتقات حامض الفسفوريك صالحة بوجه الخصوص لهذا الدور ، لتضم في بنيتها الطاقة المستجمعة من ضوء الشمس ، والطاقة المخزونة في الرابط البيروفوسفاتي هي التي تقوم بتموين عمليات التمثيل البيولوجية • وبالتالي، فان هذه المركبات العالية الطاقة مكونات ضرورية لجميع المنظومات البيولوجية • لكن رغم ان مشتقات البيروفوسفات يمكن أن تكون قد لعبت دورا ابتدائيا ، ألا أن ميزة الاستقرارية للأتب توحي الى انه ربما كان مقوم الحياة الاصلي.

ان الحاجة الى مشتقات البيروفوسفات تجعل الفوسفور عنصرا جوهريا.



لكن من بين العناصر الاكثر انتشارا الستة المطلوبة في المنظومة البيولوجية، وهي الكاربون، والهيدروجين، والنيتروجين، والاوكسجين ، والكبريت ، والفوسفور ، ينفرد الفوسفور لوحده بعدم تضمنه مشتقا متطايرا مستقرا ، وليس له بديل • والزرنيخ أوثق انتسابا الى الفوسفور من أي عنصر آخر لكن انهيدريدات حامض الزرنيخيك ليست مستقرة في الماء، والاستقرارية المائية للاآتب العالي الطاقة هي تجعل من الممكن استعماله في تمثيل حوامض النووك، والبروتينات، ومكونات خلوية أخرى•

انما هنا يبرز تناقض مثير للاهتمام • ان وجود الفوسفات في مياه البحر ضئيل وفقط بكميات جزيئية مجهرية ، مما يجعله واحدا من اندر العناصر في البحار • قام اسيموف (Asimov) بمقارنة تركيبة ماء البحر بالعناصر المطلوبة ليثبت من العامل الذي يعوق نمو الحياة • تناول الحوينة القشرية الدقيقة كوبيبود (copepod = مجذافية الارجل) كنموذج يمثل الحياة الحيوانية في البحار ، وقام بمقارنة النسبة المئوية للعناصر الجوهرية الموجودة في تركيبة الكوبيبود بمحتويات ماء البحر منها• وكل نسبة أعلى في الحوينة اعتبرت تركيزا لذلك العنصر في الحوينة ، وجد ان اربعة عناصر ، الكاربون والنيتروجين والفوسفور والحديد تواجدت بنسب تركيز كبيرة • والكاربون والنتروجين متوفران من الجو من خلال سلسلة الغذاء، انما بالنسبة الى العنصرين الآخرين كان عامل التركيز للفوسفور اربعة أضعاف نظيره في الحديد • وخلص اسيموف الى أن العامل المحدد من نمو الحياة في البحار هو كمية الفوسفور ، وهذا الامر واضح في المياه الداخلية ، أي الانهر وما اشبه، حيث يؤدي تلوثها بالفوسفور من سوائل التنظيف والاسمدةالكيمياوية الى نمو سريع للطحالب•

لكن مهما كانت خطورة الفوسفور للحياة ، فهو ليس عنصرا نادرا •



هناك بعض الصخور،وعلى الاخص بيرماغتيت والغرانيت (granite permagtitet) كثيرا ما تحتوي على قرارات كبرى من فلزات الاباتيت (apatite) وهي فوسفات ثلاثي الكلسيوم $(Ca_3(PO_4)_2$ $(CaCl_2)$، والفلورباتيت • و (fluorapatite) = $(3Ca_3(PO_4)_2 . CaF_2)$ ، الصعوبة هي ان املاح كلسيوم حامض الفوسفوريك مقاومة للذوبان للغاية ، وتزيل الفوسفور بفعالية من اية مياه يتجاوز فيها تركيز الكلسيوم على تركيز الفوسفور • ومن الممكن تماما أن تكون الحياة قد نشأت باتصال وثيق بالصخور المحتوية على الفوسفور في القرارات الرسوبية للفوسفات الثانوية (secondary phosphates) المغتسلة من هذه الصخور•

قام جون ماكليندن[٦] (John McClendon) من جامعة نبراسكا باجراء مقارنة لغزارات والمتطلبات من العناصر الموجودة في المنظومات البيولوجيه، ووجد أن تسعة عناصر ، نظرا لمطلوبيتها الفريدة ، كانت لتكون جوهرية لنشأة الحياة • وهذه هي الكاربون، والهيدروجين، والنيتروجين،والاوكسجين، والفوسفور، والكبريت، والمغنيسيوم ، والبوتاسيوم ، والحديد • لابد أن الكاربون والهيدروجين والنيتروجين والاوكسجين كانت غزيرة في المكونات الغازية للجو ، بينما كان الفوسفور مركزا في قرارات الصخور ، مع تواجد العناصر الباقية المطلوبة في مياه البحر في الاحوال الاختزالية للارض البدائية•

توجد المعادن الثقيلة ، من الحديد والمنغنيز ، والزينك، والنحاس ، والكوبالت، والموليبدنوم، بشكل رئيس في قشرة الارض ، أما البحار فهي تقريبا خالية منها• مع ذلك، هذه العناصر جوهرية للغاية لأغلب النباتات والحيوانات • وجد ماكليندن ان تركيز المعادن الثقيلة الجوهرية في النباتات لم يتناظر مع التركيزات البحرية وانما تناظر مع وجودها في القشرة • ويبدو



ان هذا يتناسب مع النباتات لأنها استوطنت المناطق اليابسة من الارض قبل الحيوانات وكيفت تركيبتها البيولوجية لتتلاءم والمقومات القشرية المتوفرة ، وتأثر دمج المعادن المناسبة لانزيمات معينة بغزارة المعدن.

لكن هل كان للمعادن الثقيلة دور في بيوكيمياء الاشكال الاولية من الحياة على الارض ؟ والاجابة على هذا السؤال تتوقف على تلاحقية الاحداث في نشأة الحياة البدائية . فالحديد والنحاس والمنغنيز تعمل بالاساس كمكونات للبروتينات المستخدمة في عملية التمثيل الضوئي. كان دي او هول[٧] (D.O. Hall) قد اقترح ان الفريدوكسين ، وهو البروتين المتضمن للحديد والداخل في نقل الالكترونات في مسلسلات التمثيل الضوئي، ربما كان أول بروتين تكوّن، وعليه فانه من المعقول تماما أن تكون وسيلة لتسخير الطاقة من ضوء الشمس قد برزت في زمن مبكر من نشأة المنظومات البيولوجية . فان صح هذا فانه يتوجب لتفسير تنشئة عملية التمثيل الضوئي لدى المتعضيات في البحار أن تحتسب لوفرة اكبر من هذه العناصر في مياه البحر آنذاك مما هي الحال اليوم. والآن بوسعنا أن نرى ان عندما نشأت المتعضيات الضوء تمثيلية قبل أكثر من ثلاثة آلاف (٣٠٠٠) مليون سنة خلت كانت كيمياء هذه العناصر في الاحوال الاختزالية للارض الاركية تختلف عما هي عليه اليوم.

Table 16.2. Concentrations of frequently required heavy metals.

	requirement Plant	Crust (mM)	Sea and air
Iron	0.400	0.015	0.0001
Manganese	0.200	0.43	0.000002
Zinc	0.060	0.87	0.000050
Copper	0.020	1.1	0.000075
Cobalt	0.0003	17	0.000036
Molybdenum	0.0002	900	0.0001

Source: Adapted from J.H. McClendon, J. Mol. Evol. 8, 175-195 (1976).

الجدول ٢/١٦ - تركيزات المعادن الثقيلة المطلوبة كثيراً . (المصدر : محورة من جيه ايج ماكليندون في مجلة النشوء، ٨، ص١٧٥–١٩٥ (١٩٧٦).

لما كان العديد من المعادن الثقيلة اكثر غزارة في القشرة مما في مياه البحر، حتى في الاحوال الاختزالية ، فانها لربما اندمجت في انزيمات المنظومات البيولوجية المتقدمة بعدما خلقت النشأة التطورية حاجة اليها . ويبدو ان الكوبالت والموليبدينوم يقعان في هذه الفئة ، والكوبالت كجزء من الفيتامين ب١٢ (B12) ، والموليبدينوم في اوكسداز الزانثين (xanthine oxidase) في الفقريات ، يرجعان بوضوح الى تطور متأخر . انما للكوبالت ايضا صلة بتثبيت النيتروجين مثلما للموليبدينوم بالنيتروجناز (nitrogenase) . مع ذلك، ان الخضار الحبوبية او القطانية (legumes) ببكتيرياها التعايشية لتثبيت النيتروجين، تكف عن احتياج الموليبدينوم اذا توفرت الامونيا[٨]. لكن مرغوليس[٩] ترى بعكس هذا ان النيتروجناز في تثبيت النيتروجين بدأ في المتعضيات الاولية ، وبما ان العنصر الجوهري موليبدينم منخفض الوفرة ذهب بعض الباحثين الى اقتراح أصل للحياة من خارج الارض[١٠]. لكن يبدو ان الاحتمال الاكثر هو أن كلا الكوبالت والموليبدينوم لم يكونا ضروريين عند اول ظهور المنظومات البيولوجية على الارض وانما اندمجا بعدما كانت النشأة قد قطعت شوطا طويلا.

كان دور المغنيسوم كجزء من اليخضور قد تطور مع ظهور الطحالب الخضرزرقاوية في زمن لاحق. أن تواجد بوفيرينات الفناديوم (vanadium) والنيكل (nickel) في البترول او النفط الخام لا يدل على ان هذين المعدنين كانت النباتات تستخدمها في عملية التمثيل الضوئي. بل التفسير الاكثر

عقلانية هو انهما تتجا عن ازاحة المغنيسيوم لتشكيل شبكيات الفناديوم والنيكل الاكثر استقرارا اثناء تكون البترول.

من جهة أخرى ربما ان الكلسيوم، الذي هو ضروري للغاية في الحيوانات المعاصرة لتفاعلات فسيولوجية عديدة وايضا للبنية الهيكلية ، لم يكن عنصرا جوهريا بدائيا، ويبدو انه اصبح حاجة اشتقاقية عندما طورت النباتات والحيوانات بنى خارجية للخلايا.

وجد ماكليندن في فحوصاته ان هناك حدودا فاصلة لا يمكن ان يقع عنصر دونها ويستمر بالتوفر بكميات وافية للمنظومات البيولوجية . يقع التركيز الادنى للبحار ما بين واحد واثنين (١–٢) نانومولار وما بين عشرة الى واحد وعشرين (١٠–٢١) ميكرومولة بالكيلوغرام في قشرة الارض . والكوبالت والموليبدينوم فقط يدانيان المستوى الاوطأ لكن الاعتماد عليهما في الظاهر كان نشأ في وقت متأخر وليس مطلقا . بعض العناصر ، كالروبيديوم (rubidium) والسترونشيوم (strontium) ، تتوفر بغزارة كافية وهي كيميائيا صالحة للعمليات الحيوية ولكنها لا تستخدم نظرا الى الوفرة الاكبر لعناصر مماثلة.

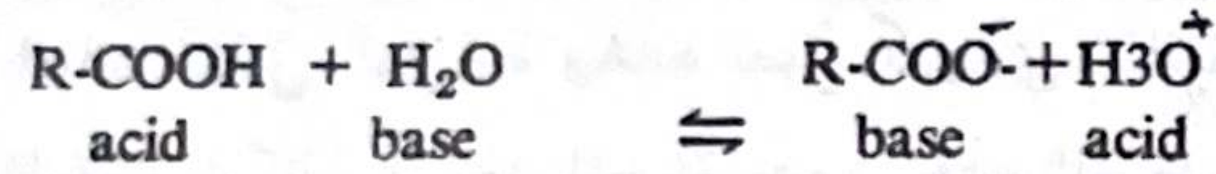
توجد مادتان اخريان لا يمكن الاستغناء عنهما لتكوين المنظومات البيولوجية ، وهما الماء والدهنيات . لكل منهما خواص فريدة تختلف عنها في الآخر، وهذا السلوك المتناقض لخواص كل منهما هو الذي يجعلهما ضرورة مطلقة للحياة.

ان الماء اكثر من مذيب للتفاعلات البيوكيميائية وهو في أغلب الاحوال عامل متفاعل . تشمل الكيمياء الخلوية بوجه رئيس تكوين وحلمأة المشتقات الحامضية، والفسفرة والربط الاقتراني (coupling) للنوتيدات هي تفاعلات تأسترية (estrification) ، بينما تمثل البروتينات عملية اميدية (amidation)



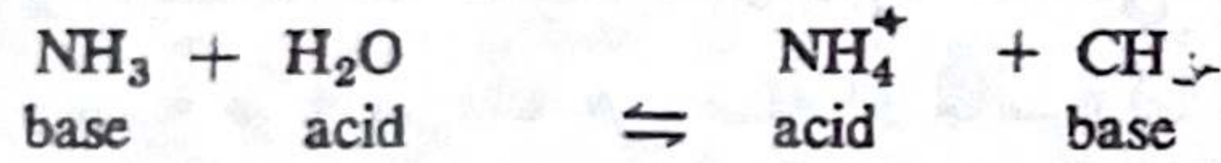
ولما كانت هذه التكثيفات (condensations) تشمل ازالة الماء بين العوامل المتفاعلة ، بينما الحلمأة هي اضافة جزيئة من الماء، فان الماء جزء مباشر من التفاعلات . عند اجراء هذه التفاعلات في وسط مائي يبلغ تركيز الماء خمسة وخمسين (٥٥) مولار . وفي التركيز العالي يلعب الماء دورا مهما في تثبيت موضع توازن التفاعل.

بوسع الماء أن يعمل كحامض وكقاعدة ، ويقوم بكلا الدورين في العمليات البيولوجية . يعمل الماء كقاعدة ضعيفة ويتقبل بروتونة (proton) من تفكيك مجموعات حامض الكربوكسيليك.



$$\underset{acid}{R\text{-}COOH} + \underset{base}{H_2O} \rightleftharpoons \underset{base}{R\text{-}COO^-} + \underset{acid}{H_3O^+}$$

وفي برتنة (protonation) الامونيا يعمل كحامض ، أي انه يقوم بتوريد البروتون



$$\underset{base}{NH_3} + \underset{acid}{H_2O} \rightleftharpoons \underset{acid}{NH_4^+} + \underset{base}{OH^-}$$

وفي تحفيز عملية التغير النظري (mutarotation) للامونيا يعمل بكلتا الصفتين أي كحامض وكقاعدة.

ان كون الماء سائلا ابدا في درجات الحرارة الاعتيادية يعود في الواقع الى أحد خواصه الأبرز. ان الماء لا يتواجد كجزيئات مفردة في الظروف العادية العيارية ، انما هو بالاحرى عرض أو تفنيد جزيئي بيني للجزيئات مرتبطة معا بأربطة هيدروجينية. ويمكن لجزيئة من الماء أن تشترك في تكوين اربعة روابط هيدروجينية كحد اقصى، وهذه الشبكة الرابطة هي التي تمنح الماء درجة غليان عالية بالرغم من بساطة جزيئته. انما اذا كان



H_2O يسلك خواصاً اكثر شبهاً بتلك الهيدريدات (hydrides) العناصر الاخرى من المجموعة ٦أ (VIa) للجدول الدوري، H_2S، H_2Se، H_2Te فلم تكن درجة غليانه (١٠٠°) مئوية، بل (−٨١°) مئوية (أي ناقص واحد وثمانون مئوية).

والماء من المواد القليلة التي تتمدد عند التجمد ، وتجعل الحالة الصلبة أقل كثافة من السائلة . لكن لو انه كان يسلك كأغلب المواد ، فان الثلج أو الجليد ، بدلا من العوم ، كان سيغوص ، وكانت البحيرات لتتجمد صلبة اثناء الشتاء، وفيما تراكم الجليد في قاع البحار كان حجم أو محتوى الماء سيصبح أقل وأكثر ملوحة بالتزايد . وصفة أخرى للماء هي قدرته العالية فوق العادة لتقبل الحرارة وهذه تعمل كمهدىء للبيئة البيوكيميائية الباطنية. ومن المعقول امكان تواجد الحياة بدون هذه الصفات الخاصة للماء، رغم ان انعدامها كان بالتأكيد سيخلق مشاكل جديدة كلية.

لكن كل هذه السمات تعود الى الصفة الوحيدة للماء التي تجعله يتعذر الاستغناء عنه للحياة . ان قدرة الماء على تشكيل تنضيدة من اربطة هيدروجينية قوية مع ذاته هي صفة او خاصية لها تأثير عظيم على المنظومات البيولوجية . فالكثير من الاسناد الذي يمسك البروتنات المعقدة معا في ترتيبها الثالثة أو الثالثوية (tertiary) متأت من بنية (الماء) اللازمة حولها. ثم ان العلاقة أو الصلة الخاصة بين الماء والدهنيات هي التي خلقت السمات المألوفة للخلايا . وبعدم تمازجهما يملك الماء والدهنيات فاصلا بينيا يتيح مجالا من التماس للتفاعل بين المواد اللامتشابهة او المتناقضة (dissimilar) كانت لتعجز عن التفاعل اعتياديا في نظام فردي الطور، ويجعل التحفيز أو الكتلسة (catalysis) ممكنة.

تشكل الدهنيات فئة من المركبات العضوية مقاومة الذوبان أو تذوب قليلا في الماء ، ولكنها تذوب في محاليل عضوية مذيبة للدهنيات . والحوامض

الدهنية تريغليسريد او ثلاثي الغليسريد (triglycerides) ، والفوسفودهنيات (phospholipids) والغليكو دهنيات (glycolipids) تنتمي الى هذه الفئة من المركبات. تصبح الدهنيات المتضمنة للسلاسل البرافينية كالحوامض أو مشتقاتها مقاومة للذوبان عندما تتجاوز السلسلة الدهنية (fatty acids) الاليفاتية حوالي أربع وحدات من المثيلين (methylene) ، وذلك لأن تشبيكة الماء الممتدة من النهاية القطبية لجزيئة الدهنية عند هذه النقطة تعجز عن احتواء أو تغمد الرفل الهيدروكاربوني (hydrocarbon tail) فتبقى الدهنية مقاومة للذوبان . ولما كانت متنافرة من الماء فانها تتحجب من بنية الماء وتمتزج أو تأتلف ببعضها، وهذه الخاصية الطبيعية الملموسة للدهنيات تجعلها حيوية الضرورة لتكوين الخلية.

تتألف الخلية من ترتيبة محكمة أو مكتنزة من الجزيئات البيوكيميائية مغلفة في غشاء شبه ترشيحي، والغشاء طبقة ثنائية من الفوسفوردهنيات مع بروتينات وثيقة الصلة به في ترتيبات مختلفة ، بما في ذلك الارتباط بالنهايات القطبية للدهنيات في الفاصل البيني للماء ـ الدهنية . لكن بما ان الخلايا تتواجد في البيئات المائية فأنها لها سمات عديدة لا تسد احتياجاتها الا الدهنيات فقط.

والخلية غير قابلة للذوبان ، وحتى المواد الشديدة المقاومة للذوبان تنحل فيها الى حد اشباع الوسط الذي يكتنفها . فاذا كانت الخلية ذات غشاء ليس كليا مقاوما للذوبان ، فستكون النتائج تدميرية ، لأنها ستظل تواجه خطر الابادة بالذوبان والانحلال.

اضافة الى كون الغشاء مقاوما للذوبان ، يتوجب ايضا أن يكون منافرا للماء، لأن حجب الماء هو الذي يجعل الدهنيات تجتمع معا لخلق طبقة ثنائية تعمل كمستوى الاتصال بين المقاصير المائية المختلفة. والدهنيات ،

زيادة على ذلك ، أخف وزنا من الماء بينما المركبات البيولوجية اكثر كثافة من الماء بقليل، وعند امتزاج الدهنيات بالمركبات الاخرى يمكن أن تداني كثافة المزيج الناتج كثافة الماء.

ان الفوسفودهنيات جوهرية الضرورة ومتواجدة في جميع المنظومات البيولوجية . تتخذ الفوسفودهنيات ذاتيا تضريسة معينة في الماء بحكم احتوائها على نهاية قطبية تتفاعل مع جزيئات الماء وسلاسل الهيدروكاربون المحجوبة عن الماء. وعند ترجيج أو خض خليط من الفوسفودهنيات والماء تتكون جسيمات كروية صغيرة تسمى بالدهنوسومات (liposomes) تراصف الجزيئات الفوسفودهنية في باطنها بطبقات مزدوجة مع سلاسل الهيدروكاربون مؤتلفة وتمتد مجموعات الفوسفات القطبي الى الخارج بالاشتراك مع الماء. يمكن تكوين الدهنوسومات في مسلسل من الطبقات المزدوجة المتداخلة ، كل منها على هذا المنوال . هناك ما يشبه بالتجمع الذاتي يقوم بخلق تضميد للمواد في باطن الكرة ويمنع انتشار الايونات والجزيئات عبر حاجز الدهنية ، وهو يتكون تلقائيا مع الفوسفودهنيات في الماء، وهو سمة ثابتة في جميع المنظومات البيولوجية.

يبدو ان الحد الادنى من المتطلبات اللازمة لظهور خلية وظيفية يتألف من تسعة عناصر جوهرية ، وبيئة مائية ملائمة، وتكون حوامض النوويك الصغيرة كالأتب والهضميتيدات والفوسفودهنيات . تتكون حوامض النوويك من انصاف بيورينات وبيريميدينات وريبوزات ، وهضميتيدات الحوامض الامينية ، وفوسفودهنيات الغليسرول الدهني، ووحدات فرعية صغيرة عديدة اخرى. وهذه هي لبنات بناء الجزيئات الضخمة والبنى لمتعضية حية.

لكن المعضلة هي ان جميع لبنات البناء هذه لتنشئة متعضية حية تأتي من مصدر واحد فقط،، وذلك هو متعضيات حية أخرى. وهكذا نجد أنفسنا قد عدنا الى البداية . فاذا كانت لبنات البناء لتشييد منظومة حية تأتي فقط من منظومات حية أخرى، كيف اذن جاءت الخلايا الاولى الى الوجود؟

الفصل السابع عشر ـ البحث عن اللبنات البنائية

في عام ١٨٠٧ عندما قام برزيليوس بتعريف المركبات العضوية بصفتها منتوجات المنظومات البيولوجية كليا دون غيرها، كان مصيبا الى حد كبير، ولم يكن قيام تلميذه فريدريش فوهلر في عام ١٨٢٨ بتمثيل اليوريا من سيانات الامونيوم (ammonium eyanate) اكثر من سوق الادلة الايضاحية الثبوتية على امكانية تمثيل المركبات العضوية من كيميائيات لا عضوية • لكن، بدون يد الانسان التوجيهية بقيت المركبات العضوية ضمن نطاق البيولوجيا • نشأت الكيمياء العضوية كفرع من الكيمياء اللاعضوية وبدون منازعة الحقيقة القائلة ان المركبات البيولوجية يتم انتاجها في الطبيعة فقط من قبل المتعضيات الحية•

لكن آنذاك جرى ابطال مبدأ التولد التلقائي، الفكرة القائلة بأن الحياة الميكروبية نشأت تلقائيا ، وذلك بقيام لويس باستور في عام ١٨٢٧ باجراء بضع تجارب بسيطة • وحتى الاعتقاد بأن الحياة مردها قوة حيوية لا شأن لها بالجماد كان قد بدأ يفقد اتباعه ازاء اتساع واتضاح كيمياء المنظومات البيولوجية • غير ان هذا النبذ للمعتقدات والمبادىء القديمة قبل الاستعاضة عنها بجديدة خلق ثغرة حادة في مفهوم العلوم للعالم الملموس، وبقى أصل الخلية البدائية سرأ دفينا مغلقا اذا أمكن تعريف جميع الكائنات الحية بمنطوق الخلية البيولوجية ، والخلية هي وحدة وظيفية من المركبات الكيميائية وعملياتها التفاعلية ، كيف اذن جاءت الخلايا الاولى الى الوجود في الارض البدائية؟

ولاسيما، كيف تمكنت الخلايا الحية الاولى من الحصول على الحوامض الامينية التي تصنع بروتيناتها؟ فمتى ما تمكنت الخلايا من تمثيل البروتينات

يصبح بمقدورها انتاج الانزيمات التي كانت بمثابة المفتاح للماكنة البيولوجية بأسرها • لكن جميع الحوامض الامينية الموجودة في الطبيعة تأتي من نبات او حيوان او ميكروب في زمن او آخر• وحتى لكي تتمكن النباتات من استخدام ثاني اوكسيد الكربون ، والفلزات ، والماء، لانتاج الحوامض الأمينية، والسكاكر، والدهنيات ، سيلزمها حشد معقد من الانزيمات والبنى الخلوية • في الاحوال الجيولوجية القاحلة العقيمة للارض ما قبل البيولوجية كان من غير المعقول البتة تصور كيف ابتدأت حتى ابسط اشكال الخلية البدائية • وظلت هذه المعضلة تقض مضجع العلماء طوال أكثر من قرن واحد•

من بين أقدم المحاولات لصوغ جواب للمعضلة كانت محاولة الفسيولوجي الالماني العظيم ادوارد بفلوغر (Eduard Bflüger) • ففي ورقة بارعة قام بنشرها في عام ١٨٧٥ طرح بفلوغر[1] ان المركبات العضوية البسيطة ربما تكونت من فلزات لا عضوية بفعل الاحوال الطبيعية للارض البدائية ، وأشار، استنادا الى المعرفة الكيميائية المتوفرة قبل مائة عام، الى أن البوتاسيوم والكاربون ينتجان سيانيد البوتاسيوم (potassium cyanide) عند تسخينهما معا الى درجة عالية في الهواء ، وعلل لربما ان العواصف الرعدية كانت قد فعلت نفس الشيء• أدرج في ورقته عدة تفاعلات أخرى توضح كيف يمكن انتاج المركبات العضوية من مواد لا عضوية ، وأن عند تسخين ثاني كبريتيد الكربون (carbon disulfide) مع كبريتيد الهيدروجين (hydrogen sulfide) نحصل على الاثيلين ، وكما كان برثيلوت (Berthelot) قد وجد، ان الميثان والكاربون والهيدروجين تتفاعل تحت التفريغ الكهربائي لتعطي الاستيلين الذي يمكن أكسدته الى حامض الاوكساليك (oxalic acid) • عند تسخين أول اوكسيد الكربون مع هيدروكسيد البوتاسيوم يتكون لدينا فورمات

البوتاسيوم (potassium formate) ، ومن تقطير الفورمات استحصل بفلوغر على الميثان ، والاثيلين، والبيوتلين (butylene) والاميلين (amylene) ومماثلات اعلى• عند تسخين فورمات الامونيوم، تكون منها سيانيد الهيدروجين• كما ان تمرير الامونيا فوق الكاربون المتوهج اسفر عن تكون سيانيد الامونيوم • كان معلوما ان السيانيد مركبات تفاعلية ، ولذلك افترض بفلوغر ان السيانيد تفضي الى البروتينات، وطرح تصورا ان اصل الحياة سبقته فترة وسيطة كانت المركبات العضوية عديمة الحياة تتبلمر أثناءها لتصبح بروتينات ذات طبيعة حية•

للاسف ان بفلوغر عاش في زمن كانت البنية الاولية للبروتينات لا تزال قيد التحديس • طرح نظرية للبروتوبلازمة يقول فيها انه يظن ان النيتروجين كان في الاكثر بشكل السيانوجين• لكن عندما سقطت نظرية سيان ـ بروتين (cyan protein) لبفلوغر ، سقطت معها نظريته حول اصل الحياة ايضا ، وانقضى زهاء الخمسين سنة قبل ظهور اية نظرية هامة حول أصل الحياة•

في عام ١٩٢٢ طرح البيوكيميائي الروسي اوبارين (A.J. Oparin) نظرية الى الجمعية النباتية في موسكو حول الالتئام الذاتي للمركبات العضوية اللاحيديوجينية التكوين (abiogenetically formed) كطلائع (precursors) للخلايا الاولى• وقد نوظر ان هذه الطلائع كانت قد نشأت بالاغتذاء على المركبات العضوية اللاحيوية حتى تطورت الى نقطة امتلاكها القدرة على تمثيل بيوكيميائياتها بنفسها • اقترح اوبارين ان الهيدروكاربونات (hydrocarbons) كانت المركبات العضوية الابتدائية التي تكونت بتفاعل الماء وكاربيدات المعادن (metal carbides) الموجودة في لب الارض الحديدي• عند التقاء الكاربيدات والبخار في سطح الارض نشأت عنهما الهيدروكاربونات • قال انها كانت ستحترق بفعل الاوكسجين في الهواء لكن

التفاعل لم يكن ليكون تاما بحيث ان اول اوكسيد الكربون ومشتقات الاوكسجين من الهيدروكاربونات والكحول والالديهايد والكيتون وحوامض الكربوكسيليك تكونت بالنتيجة ، واعتقد ان مركبات النيتروجين كانت مشتقة من السيانوجين المتكون من تفاعل تريت المعادن (metal nitrites) مع الهيدروكاربونات . قام بنشر نظريته في عام ١٩٢٤[٢]، وتبعتها طبعة منقحة في عام ١٩٣٦[٣].

كان أوبارين متأثرا بآراء عصره القائلة ان الارض كانت في مرحلتها الاولى ذائبة وان الجو بقي جوهريا كما هو بدون تغيير عبر دهور التاريخ، عندما ابدى العالم الوراثي (geneticist) البريطاني جيه بي اس هالدين (J.B.S. Haldane) تأييده لنظرية النشوء الكيميائي في عام ١٩٢٨ افصح عن فكرة جو خال من الاوكسجين. بالنسبة الى هالدين ان قوى الضوء ما فوق البنفسجي الفاعلة على الماء وثاني اوكسيد الكربون والامونيا خلقت تنويعة من المواد العضوية تراكمت في البحار البدائية حتى بلغت قوام «حساء مخفف حار».

ان ادراك هالدين ان الجو الخالي من الاوكسجين كان المفتاح الى تمثيل المركبات العضوية كان بلاءا باهرا للتبصر في غياهب اصل الحياة . لكن الغرب في طبيعة الانسان هو النزوع الى جعل صيغة العبارة الفاتنة تهيمن على تفكيره، فأصبح الحساء المذوق الحار لهالدين «الحساء البدائي». وانتشرت هذه العبارة وتعممت على نطاق واسع طوال أكثر من خمسين سنة دونما أي اثبات جيولوجي على صحتها في الواقع مطلقا.

لم يكن يؤخذ عموما قبل هالدين بفكرة نشوء الحياة في بيئة منقوصة او مختزلة ، وكان الاجماع سائدا على ان الاحوال المؤكسجة القائمة اليوم كانت ضرورة لابد منها للحياة وان الحياة نشأت في هذه الاحوال. لكن



باستور اكتشف اثناء دراسته للتخمر ان الحياة ممكنة بدون اوكسجين وطرح حشدا من المتعضيات اللاهوائية التي كانت تؤايض المواد بدونه. وعندما وجد هالدين في عام ١٩٢٨ ان عمليات التخمر التآيضية للمتعضيات الحية كانت كلها مماثلة، بينما التفاعلات التأكسدية كانت في الاغلب مختلفة، خلص الى ان التآيض اللاهوائي كان الاكثر بدائية ، وطرح ان المتعضيات الحية الاولى كانت لا هوائية كان مصدرها من الطاقة للتآيض المواد الشبه مستقرة (metastable) الناتجة عن فعل الضوء ما فوق البنفسجي القادم من الشمس.

ولم يكن حتى عام ١٩٢٩ ان تم الاكتشاف ان الهيدروجين هو العنصر الاكثر غزارة في الكون[٥]. بدا واضحا أن جو الارض المؤكسج لا يمكن ان يكون هو نفس غلافها الغازي الاصلي في كون يتألف معظمه من الهيدروجين. وعليه فقد كان هناك طريقتان لانتاج الاوكسجين الطليق، أما بالتفكيك الضوئي للماء في أعالي الجو او بالتمثيل الضوئي، وبديء الآن بأدراك اهمية المتعضيات الضوء تمثيلية المولدة للاوكسجين في نشأة البيئة الارضية . قام اوبارين باضافة اشارة الى أصل الارض اللاهوائي في الطبعة المنقحة لكتابه ، ويسود الاعتقاد في العموم الآن ان نشأة الحياة على الارض خلقت الحالة المؤكسدة للجو والبحار.

في أعقاب الحرب العالمية الثانية بدأت فكرة امكان تفسير نشأة الحياة بكيمياء الارض البدائية تجتذب الانصار ، وكانت التحديسات تشير الى ان الحياة نشأت في وسط عضوي ما قبل الحياتي . غير ان عقدة المشكلة كانت ايجاد شرح معقول لكيفية امكان انتاج المواد العضوية من الغازات والاملاح والفلزات اللاعضوية قبل تواجد أية منظومات بيولوجية . لما كانت النباتات تنتج المركبات بأختزال ثاني اوكسيد الكربون ، فان أحد السبل الى ايجاد الحل كان القيام بأنجاز هذه العملية بوسيلة من الوسائل المادية . لكن حتى



اذا أمكن الحصول على مركبات صغيرة ، فان هذه بدورها سوف يلزم تكثيفها الى سلاسل طويلة قبلما يمكنها أن تتمخض عن خلية وظيفية . في عام ١٩٥١، قام جيه دي برنول (J.D. Bernall) وهو خبير كريستالوغرافي وفيزيائي من جامعةلندن بوضع مؤلفه: «الاساس المادي للحياة: "The Physical Basis of Life" ذكر فيه ربما ان الامتصاص في أسطح الاطيان الصلصالية كان وسيلة لتركيز وبلمرة مركبات ما قبل حياتية بسيطة.

لم تكن التكنولوجيا التحليلية آنذاك قد بلغت المستوى الذي اتاح تحليل الكيمياء المعقدة للخلية . كانت حوامض النوويك معروفة ، لكن اهميتها بالضبط كانت لم تزل غير اكيدة ، وكانت البروتينات تعتبر المادة الأولية للحياة. ثم جاء جهاز الفرز أو النبذ المركزي الفائق السرعة (Ultracentrifuge) ليمكن البيوكيميائيين من التثبت ان للبروتينات اوزانا معينة، لكن ما اذا يمكن اعتبارها مركبات متوحدة متسقة مثل الكيميائيات العملاقة بقي موضع الارتياب، لكنها كان لها خصائص غروانية[٧] (colloidal) لم يجر الاعلان عن اول بنية أولية تامة للبروتين الى أن قام سانغر[٨] (sanger) برسم سياق الانسولين (insulin) في عام ١٩٥٣، وهو انجاز كان العديد من البيوكيميائيين حتى ذلك الوقت سيعتبرونه من باب المستحيل.

رغم ان فكرة نشوء الحياة عن مجموعة من التفاعلات الكيميائية في الارض البدائية كانت تروق للمنطق العلمي، فانه لم تكن توجد اية بيانات تجريبية لاثبات كيف كان ذلك ممكنا. وفي الوقت الذي كان لا يزال يجري تفسير عملية التمثيل الحيوي للبروتينات بمنطوق مفهوم افتراضي غامض متداول، فقد بدا ان امكانية تفهم كيف امكن نشوء شيء معقد للغاية كالخلية الحية من الفلزات اللاعضوية على الارض البدائية كان حقا بعيدا عن المنال .

في عام ١٩٥١ قامت مجموعة من بركلي برآسة ملفن كالفن[٩]

(Melvin Calvin) بمحاولة لاختزال ثاني اوكسيد الكربون باستعمال جهاز السيكلوترون (cyclotron)، وهو جهاز استنبط لتسريع الجسيمات الذرية لدراسة نواة الذرة . كانت هذه تجربة يتم فيها افتعال او تقليد آثار الاشعاع من قشرة الارض على مكونات الارض البدائية لضرب المثال على النشأة اللاحيوية للمواد العضوية . وعند قصف خليط من ثاني أوكسيد الكربون في الماء مع قدر محفز من ملح الحديد الثنائي التكافؤ بأيونات الهليوم بقوة اربعين مليون الكتروفولت (40meV) من السيكلوترون قطر (٦٠) بوصة، كانت الكيميائيات الناتجة تحويلا بنسبة عشر بالمائة (١ر٠٪) الى الفورمالديهايد . اثبتت التجربة على حصول بعض الاختزال . غير ان النتائج كانت غير مقنعة لدرجة ان الهوة بين الارض اللاعضوية والبروتينات بقيت واسعة ومكثبة.

بعد عامين من ذلك ، في أيار من عام ١٩٥٣، قام ستانلي ميلر[١٠] بنشر نتائج تجربته بالتفريغ الكهربائي. وخلال سنة اعلن فريدريك سانجر (Frederick Sanger) عن البنية البدائية للانسولين ، وهو أول بروتين يتم التثبت من سياق حوامضه الامينية مطلقا. وفي حوالي نفس الفترة قام جيمزواطسون وفرانسيس كريك[١١] (James Watson and Francis Crick) بالبرهنة على ان الاساس الكيميائي لطبيعة الحياة التكاثرية او التناسلية كان حامض النوويك المزدوج اللولبية.

اتبع ميلر تجربته الاولى بتنويعات حول تركيبة خليط الغاز وبتحليل تفصيلي للمواد الناتجة عن التفاعل[١٢]. كان قدر كبير من الناتج مادة قارية غامضة ، وكان غلايسين (glycine) الحامض الاميني المنتج بأكبر قدر (٢ر١ بالمائة) مبينا على الكاربون . ومن بين القائمة الطويلة للمنتوجات المتولدة عن التفاعل ، كانت أربع منها فقط حوامض أمينية تقع في البروتينات.

Table 17.1. Yields from sparking a mixture of CH_4, NH_4, H_2O and H_2.

Compound	Yield (pM)	Yield %
Glycine	360	2.1
Glycolic acid	560	1.9
Sarcosine	50	0.25
Alanine	340	1.7
Lactic acid	310	1.6
N-Methyl alanine	10	0.07
a-Amino-n-butyric acid	50	0.34
a-Aminoisobutyric acid	1	0.007
a-Hydroxybutyric acid	50	0.37
B-Alanine	150	0.76
Succinic acid	40	0.27
Aspartic acid	4	0.024
Glumatic acid	6	0.051
Iminodiacetic	55	0.37
Iminoaceticpropionic acid	15	0.13
Formic acid	2,330	4.0
Acetic acid	150	0.51
Propionic acid	130	0.66
Urea	20	0.034
N-Methyl urea	15	0.051

Note: 59 moles (710) of carbon were added as CH_4. The percent yields are based on carbon.

Source: Stanley L. Miller and Lesile E. Orgel, The origins of Life on the Earth (Englewood Cliffs: Prentice-Hall, 1974), p. 85.

**الجدول ١/١٧ – حصائل من خليط شرارة من CH_4, NH_4, H_2O, H_2 ملاحظة ·
اضيفت ٥٩ مولة (٧١٠) من الكربون بمثابة CH_4 • والنسب
المئوية للحصائل مبنية على الكربون•
المصدر : ستانلي ايل ميلر وليزلي ئي اورجيل في: اصول الحياة
على الارض ، ص ٤٥•**

قام ميلر بدراسة آليات تجربة التفريغ الكهربائي واكتشف أن سيانيد الهيدروجين (HCN) والالديهايد (aldehydes) كانت المتوسطات (intermediates) النشيطة التي تكونت في التفاعل • فاستنتج من هذا ان المنتوجات كانت قد اصطنعت بفعل تفاعل ستريكر (strecker reaction) وهو اقدم الاساليب المعروفة لتمثيل الحوامض الامينية • ولاختبار هذه الفرضية قام باختبار خليط من سيانيد الهيدروجين والالديهايد والهيدروجين والامونيا بأغلائها في الماء لمدة اسبوع واحد • تم الحصول على منتوجات مماثلة لتلك التي تكونت بتجربة الشرارة أو التفريغ الكهربائي، وذلك بمقادير لا يستهان بها ، مؤيدة آراءه عن الآلية•

كان قد تواجد عدد من مصادر الطاقة على الارض البدائية تمكنت من الاسهام في تمثيل المركبات العضوية • ومن بين الاكثر أهمية من هذه كان الضوء ما فوق البنفسجي من الشمس ، والتفريغات الكهربائية في الجو ، والنشاط الاشعاعي في التربة ، والطاقة الحرارية وبين هذه كان الاشعاع ما فوق البنفسجي من ضوء الشمس المصدر الاكبر الى حد بعيد•

واليوم تقوم الطبقة الاوزونية بحجب كل اشعاع يقع دون كثافة (٣١٥) نانومتر • لكن الدفق الشمسي كان ينصب على الارض البدائية بشدة عنيفة ويؤثر بقوة على الجو البدائي• لما كان امتصاص الميثان يمتد الى (١٤٥) نانومترا ، والماء الى (١٦٥) نانومترا ، والامونيا (٢٢٠) نانومترا، فان التفكيك الضوئي لهذه الجزيئات كان ليحصل بهذه الموجات القصيرة للاشعاع ما فوق البنفسجي، لخلق جذر او جذريات (radicals) كيميائية شديدة التفاعل • من المؤسف، توجد عوائق تكنيكية تحول دون استخدام الضوء ما فوق البنفسجي في المختبر لافتعال تمثيل المركبات العضوية في الجو البدائي، ولم تجر غير بعض التجارب بأطوال الموج المتوفرة فقط[١٣]•

Table 17.2. Boiling of H_2, NH_3, HCN, HCHO, CH_3CHO, C_2H_5CHO and H_2O for one week.

Reaction product	Moles $\times 10_5$	Yield Percent
Glycine	98	16
Alanine	129	35
a-Aminobutyric acid	27	23
Glycolic acid	72	12
Lactic acid	42	12
a-Hydroxybutyric acid	15	13
Iminodiacetic acid	56	18
Iminoaceticpropionic acid	45	

الجدول ٢/١٧ ـ تغلية

H_2O, C_2H_3CHO, CH_3CHO, HCHO, HCN, NH_3, H_2

لمدة اسبوع واحد.

كان فيليب ابلسون[١٤] (Philip Abelson) **من معهـد كارنجي بواشنطن** أول من حقق امكانية تمثيل الحوامض الامينية بالتفاعلات الكيميائوضوئية. عندما قام بتعريض محلول فورمات الامونيوم وهيـدروكسيـد الامونيوم وسيانيد الصوديوم وكبريتات الحديد الثنائي التكافؤ لاشعاع بموجة طولها (٢٥٤) نانومترا ، حصل على الغليسينونتريل (glycinonitrile) الذي تحلمأ الى غلايسين. قام آخرون باجراء التجارب باستعمال خلائط غازية مع اطوال موج ما فوق البنفسجي متعددة اسفرت عن تكون حوامض امينية أخرى[١٥]، وتم تشخيص الغلايسين ، والالانين، واللوسين ، كمنتوجات من تسليط الاشعاع على الميثان والامونيا والماء وأول اوكسيد الكـربون ، في ما بين (١٤٥) و(١٨٠) نانومترا من الاشعاع[١٦]. وكانت الحـوامض الامينية المتكونـة بفعل الضوء ما فوق البنفسجي في العموم هي تلك المستحصلة من تجـارب التفريغ الكهربائي.



Table 17.3. Present sources of energy averaged over the earth.

Source	Energy (Calories/cm²/year)
Total radiation from the sun	260,000
Ultraviolet light	
<300 nm	3,400
<250 nm	563
<200 nm	41
<150 nm	1.7
Electric discharges	4
Cosmic rays	0.0015
Radioactivity (to 1.0 km depth)	0.8
;Volcanoes	0.13
Shock waves	1.1
Solar wind	0.2

Source: S.L. Miller, H.C. Urey, and J. Oró, Origin of organic compounds on the primitive earth and in meteorites, J. Mol. Evol. 0, 59-72 (1976).

المصدر : اس ايل ميلر وايج سي يوري وجيه أورو . مصدر المركبات العضوية في الارض البدائية وفي النيازك، مجلة النشوء الجزيئي ٩، ص٥٩ـ ٧٢ (١٩٧٦).

رغم ان الضوء ما فوق البنفسجي لربما كان مصدر الطـاقة السـائد لتمثيل المركبات العضوية ما قبل البيولوجية ، كان أغلبه بموجات طويلـة لا تتفاعل مع الغازات المستعملة لافتعال الجو البدائي الا أن كارل ساغـان وبيشون خاريه (Carl Sagan and Bishun Khare) لاحظـا ان الهيدروجين ، والميثان ، والامونيا ، والماء، والايثان ، وربما ايضا أول اوكسيد الكربون والنيتروجين ، جميعها كانت شفافة كليا للضوء ما فوق البنفسجي يربو على (٢٤٠) نانومترا ، لكن كبريتيد الهيدروجين له تسلسل أو استمراريةامتصاص



واسعة تبدأ في حوالي (٢٧٠) نانومترا . اذن كان بامكان كبريتيد الهيدروجين أن يعمل كمتقبل فوتون ابتدائي لالتقاف طاقة ضوء ما فوق البنفسجي الطويل الموجة وابتدار تفاعلات كيميائية . وجد ساغان وخاريه[١٧] في تجارب الافتعال أن تواجد كبريتيد الهيدروجين مع الغازات المعرضة للضوء ما فوق البنفسجي بقوة (٢٥٤) نانومترا انتج حوامضا امينية ، واثبتا ان غزارة الضوء ما فوق البنفسجي في منطقة الموج الاطول من الطيف لربما كانت أحد المصادر الرئيسة للطاقة لتمثيل المركبات ما قبل الحيوية.

وبوسع الاشعاع المؤاين ايضا أن يعمل كمصدر للطاقة . فقد تكونت حوامض امينية[١٨] عند تعريض خليط من الغازات تفتعل الجو البدائي الى الاشعة السينية وأشعة غاما. غير ان مصدر الطاقة هذا لا يعتبر مساهما ذا أهمية في تمثيل المركبات ما قبل الحيوية ، لأن أغلب التآين كان ليحصل في الصخور السيليكاتية وليس في الجو.

ظهر تشكيك في أهمية الانشطة البركانية في تمثيل الحوامض الامينية. عند تسخين خليط من الغازات يفتعل الجو البدائي لدرجة حرارة الف ومائتين (١٢٠٠°) مئوية باستمرار لا تتكون ايةمركبات عضوية ويقتصر الناتج على توازن الغازات فقط . غير انه اذا تم تمرير الغازات ببطء فوق لابا ذائبة أو منصهرة ومن ثم اطفاؤها بسرعة ، يجري تمثيل تنويعة من الهيدروكاربونات. وبهذه الطريقة يجري تكوين الفنيل استيلين (phenylacetylene) ، وهو الطليعة الى الفنيل الانين والتيروسين[١٩]، والاندول indole وهو طليعة التربتوفان[٢٠] (tryptophan) . هذا التفاعل يقدم طريقة كان يمكن بها حصول الحوامض الامينية العطرية (aromatic amino acids) في ما قبل البيولوجية . لكن لربما ان هذه الحوامض الامينية لم تكن قد أصبحت جزءا من المنظومات البيولوجية الى أن تم تمثيلها بيوكيميائيا.

ومهما بدا غريبا ، فانه من ضمن المعقول ان تكون الموجات الصدمية من المصادر الرئيسة لانتاج الحوامض الامينية . لقد قام أي بار-نان[٢١] (A. Bar-Nun) وزملاؤه بضرب امثلة ايضاحية بغازات تفتعل جوا بدائيا بان في انبوبة صدم (shock tube) ترتفع درجة حرارة مقدمة الصدمة فيها الى ما بين الف والفي (١٠٠٠–٢٠٠٠°) درجة كلفين (Kelvin) ضمن (١٠-١ ثانية، مع الاطفاء السريع ، يحصل تحويل عال للغازات الى حوامض امينية. احتسب الخبيران دفق الصدمة السنوي من نيازك المذنبات والنيازك المجهرية والرعد ووجدا انه يبلغ بالتقريب سعرة (calorie) واحد بالسنتمتر المربع . وعلى نقيض هذا كانت الطاقة من ضوء الشمس ما فوق البنفسجي دون كثافة (٣٠٠) نانومتر لتبلغ حوالي الف (١٠٠٠) سعرة بالسنتمتر الواحد . لكن موجات الصدمة اكثر كفاءة بمليون مرة من الضوء ما فوق البنفسجي لانتاج الحوامض الامينية . وبهذا الصدد ، كان سيمكن توليد حوامض امينية بأمواج الصدمة (١٠٠٠) مرة أكثر مما بأغزر مصدر للطاقة ، وهو الضوء ما فوق البنفسجي.

توحي هذه التجارب المختلفة الى وسط كان يجري فيه انتاج المركبات العضوية أو طلائعها في جو بدائي فتمطر هاطلة لتتراكم في البحار الشابة ، وباغتسال العديد من المركبات المتفاعلة الى منخفضات أو احواض ضامة حصلت التفاعلات لتوليد المزيد من المواد الاضافية . كانت هذه صورة جديدة ومثيرة للكيمياء التي حصلت على الارض قبل أن تتواجد الحياة عليها . ولم تعد نشأة الحياة ينظر اليها بمنطوق مواد لا عضوية غريبة في وسط جيولوجي يفضي الى قيام بنية لا بيولوجية تحتم عليها عبور تطور لا محدود قبل امكان تكون خلية حية، فان المركبات ما قبل الحيوية المطلوبة لتشييد منظومة بيولوجية كانت الحوامض الامينية المألوفة لدى كل دارس للبيوكيمياء.

بعد انقضاء ثلاثة عقود من السنين ، من الممكن وضع تجربة ميلر في منظور أفضل بالنسبة الى نشأة الحياة • كان جو يوري (Urey) المتألف من الميثان والامونيا يعتبر الجو البدائي للارض اكتسبته عندما تكونت المنظومة الشمسية • لكن يوجد فيض من الشواهد للدلالة على انالجو الاصلي كان قد ضاع وتعوض من الغازات المنبثقة من باطن الارض • اذن يبقى السؤال بأي حال اختلف الجو الثاني عن الاول؟

لقد بينت الدراسات ان تركيبة الغازات البركانية تتألف بوجه رئيس من الماء وثاني اوكسيد الكربون مع قدر كبير من الهيدروجين[٢٢]• يصدر الكلوريد ، بصفته المادة الاكثر غزارة ، بمثابة الحامض ، مثلما يفعل الكبريت، والنيتروجين موجود بوجه رئيس كالعنصر • لم يمكن ان تتواجد الامونيا في الجو بأي مقادير ملموسة • وقد اشار ابلسون[٢٣] ان كمية من الامونيا تعادل النيتروجين الجوي الحالي كانت ستتجرد بفعل الاشعاع ما فوق البنفسجي في حوالي (٣٠) الف سنة • وعلى نفس الغرار كانت اذابتها العالية في لماء لتخلق توازنا كله جوهريا بحالة السائل في البحار • وعليه، فأن جو الارض البدائية تألف من فضلات أو ترسبات الغازات البركانية بعد تعادلها بين نظام الجو–البحر• ويحاجج ابلسون انه كان سيتألف من تركيبة قوامها بوجه رئيس اول اوكسيد الكاربون وثاني اوكسيد الكاربون والنيتروجين والهيدروجين•

تتيح الطبيعة الجوهرية لتجربة ميلر ليتألف جو الغازات الطلائع من أي تركيبة كانت على ما يظهر شريطة ان تكون اختزالية وان تتضمن مكوناتها الكاربون والهيدروجين والاوكسجين والنيتروجين • مع ذلك، لربما كانت كيمياء الجو من الغاز المنبثقة مماثلة لتلك في خليط الميثان والامونيا انما ليس نفسها • عند تعريض خليط من أول اوكسيد الكاربون والنيتروجين

والهيدروجين الى تفريغ كهربائي يأتي سيانيد الهيدروجين كالناتج الرئيس مع لا شيء آخر تقريبا سوى دون اوكسيد الكربون (carbon suboxide O=C=C=C=O) ، وثاني اوكسد الكربون والماء[٢٤]• لا يستطيع المرء تحقيق مسلسل الديهايدات المتوسط الى الحوامض الامينية بطريقة تفاعل ستريكر • بالنتيجة تصبح الكيمياء ما قبل الحيوية ليس «حساءا» كما تصور ناشئا من جو من الميثان والامونيا ، وانما من سيانيد الهيدروجين (HCN)

يتعرض سيانيد الهيدروجين لتفاعلين اثنين مهمين • فهو يتحلمأ الى هيدروكسيد الامونيوم مع حامض النمليك، وفي سوائل قلوية قليلا (alkaline) يتكثف مع ذاته ليدر تنويعة من المركبات ذات اهتمام بيولوجي• والناتج الرئيس من تكثيف HCN هو التترامر (tetramer) ، وحلمأة التترامر تفضي الى الغلايسين ، وقد أعلن جيه اورو (J. Oro) وأس كامات (S. Kamat) عن تحصيل مقادير صغيرة من الالانين وحامض الاسبرتيك عند تسخين سوائل بمقدار (٢ر٢ مولار) من السيانيد في درجة حرارة خمسة وسبعين (٧٥°) مئوية لمدة خمسة وعشرين (٢٥) يوما لكن هذا تركيز عال• فليتسنى لتكون التترامر ليتجاوز تفاعل الحلمأة يلزم أن يكون تركيز سيانيد الهيدروجين لا أكثر من حوالي عشر (او.) المولار• وهذا تركيز غيرحقيقي لسيانيد الهيدروجين في الاحوال الطبيعية، انما كان ممكنا ان يكون اعتياديا لهيدروكسيد الامونيوم من حلمأة سيانيد الامونيوم ، الذي كان يمكن تركيزه فيما بعد بالتبخير الجزئي للمحلول•

من الممكن أن يكون قد حصل تضاد لعامل التركيز هذا بفعل الضوء ما فوق البنفسجي • فقد وجد ابلسون ان سوائل او محاليلا من ٠٠٢ر٠–

١٠ر٠ مولار) من سيانيد الهيـدروجين في بدّ (PH) (٨–٩) تعطي عند تعريضها الى ضوء بكثافة (٢٥٤) نانومترا خليطا يتحلمأ الى غلايسين،وسيرين، وحامض الاسبرتيك ، وحامض الغلوتاميك٠

انطلقت المختبرات المختلفة في أعقاب تجربة ميلر تتابع البحوث بهمة بالغة بغية التدليل على امكانية التمثيل اللاحيوي لاكبر عدد ممكن من الحوامض الامينية البيولوجية العشرين (٢٠)٠ بالنتيجة تم الاعلان عن انتاج جميعها في التجارب الافتعالية باستثناء اثنين منها هما الهستدين (histidine) والأرجنين[٢٦] (argenine) ٠ اضافة الى هذه انتجت تجربة ميلر العديد من الحوامض الامينية التي لا تستخدمها البروتينات٠

يجوز ان تكون الحياة قد بدأت بأقل من هذا العدد بكثير٠ فمن أحد الاوجه، أن الكيمياء ما قبل البيولوجية المبنية على سيانيد الهيدروجين اكثر بساطة ولربما اكثر انطباقا بالصدفة الظرفية على نشأة الحياة ٠ وعندما نتأمل عملية التمثيل الحيوي ندهش حقا من ضآلة عدد لبنات البناء الاساسية الموجود في الواقع[٢٧]٠ بوسع البيروفات، والخلات، والكاربونات، في بعض المتعضيات المجهرية ان تقدم كل الكاربون المطلوب للتمثيل:

لوسين	leucine	سيرين	serine
ايسولوسين	isoleucine	غلايسين	glycine
حامض الغلوتاميك	glutamic acid	مشيونين	methionine
لايسين	lysine	سيستين	cysteine
حامض الاسبرتيك	aspartic acid	الانين	alanine
ثريونين	threonine	فالين	valine
ارجنين	argenine	برولين	proline

يمكن أن ينشأ البيروفات والخلات من تجريد السيرين ، ويمكن الحصول على الخلات من البيروفات ومن حامض الملونيك (malonic acid) ثم ان الفريدوكسين، الذي يعتقد انه من أقدم البروتينات في النشأة ، قد تم تكونه على ما يظهر من سياق متكرر للالانين والسيرين وحامض الاسبرتيك والغلايسين، وهذه كلها حوامض امينية تنتج بأقصى السرعة والسهولة من سيانيد الهيدروجين٠

اوضحت تجربة ميلر سهولة تكون لبنات البناء الحياتية واحتمالية تواجدها ما قبل الحياتي، وقد توفر عدد من مصادر الطاقة على الارض البدائية لانتاج المركبات البيولوجية٠ فكل ما مست اليه الحاجة كان خليطا من الغازات المختزلة ، وعلى نقيض هذا، لو كان الجو يتضمن الاوكسجين بالاصل ، والذي ظل الاعتقاد سائدا بضرورته لنشأة الحياة فترة طويله ، لكانت الحياة لم تظهر الى الوجود مطلقا٠ لأن الاوكسجين كان سيطفيء أي تفاعل يظهر قبل تمكنه من صنع اللبنات البنائية٠

أبان ابلسون ان جوا يتضمن مقادير كبيرة من الميثان كان سيؤدي الى انتاج رواسب كبرى من المواد العضوية المنافرة للماء، ألا انه لم يتم العثور على مقادير كبيرة فوق العادة من الكاربون أو المواد العضوية في الصخور السابقة لتاريخ أقدم المتعضيات ٠ غير انه توجد مؤشرات الى عدد كبير من المركبات العضوية التي على ما يظهر تم تمثيلها في جو من الميثان والامونيا ، ليس في الارض البدائية وانما في السديم الغازي قبل تكون الارض٠

لقد تم العثور على غازات هيدروكاربونية بالقرب من بحيرة هيورون في كندا وبمثابة قرارة اوختنسك في الاتحاد السوفياتي في تشكيلات الصخور البلورية التي لا صلة لها بالصخور الرسوبية[٢٨]٠ اما المكامن العظمى للبترول فهي بالحتم من اصل بيولوجي، انما عثر على لقايا في الاتحاد السوفيتي تشير

الى ان بعض قرارات البترول تنتسب الى اشتقاق لا حيوي تدل الانبثاقات الغازية في هضبة خينسك في شبه جزيرة كولا الى تواجد الميثان وهيدروكاربونات اثقل تنتمي على ما يظهر الى اصل صهاري، ورغم ان هذه تعد بالمئات فنادرا ما تتضمن هذه المصادر اية اهمية تجارية[٢٩]. يبدو ان هذه المادة العضوية ليست من بقايا «الحساء البدائي» وانما ما تزال باقية منذ زمن يمتد حتى الى ما قبل تواجد الارض • وهذه النظرية تنشأ من اكتشاف مواد عضوية في النيازك الساقطة ومدعمة بها•



الفصل الثامن عشر ـ النووسيد والنووتيد والاتب

عندما اعلن ميلر عن تجربته بالتفريغ الكهربائي في عام ١٩٥٣ كانت كيمياء البروتين فرع البيوكيمياء الرئيسي المتقدم، وكان فرع البيولوجيا الجزيئية لا يزال حديث العهد• وكنتيجة لهذا الاهتمام بالبروتينات وللسهولة النسبية التي امكن بها قياس مقادير دقيقة من الحوامض الامينية ، تركزت الدراسات حول نشأة الحياة ابتدائيا على الحوامض الامينية • لكن البروتينات ليست، ولم يمكن في أي زمن مضى ان تكون، حياة بحد ذاتها• ان التكاثر البيولوجي في جوهره هو عبارة عن تناسخ جزيئي، وهو دور تقوم به حوامض النوويك دون غيرها مطلقا• اين اذن كانت النووتيدات، لبنات البناء لحوامض النوويك؟

ان النووتيدات مركبة من ثلاثة اصناف من الكيميائيات، هي قاعدة هيتروسيكلية وسكر وحامض الفوسفوريك، وهذه القواعد هي البيورينات الادنين والغوانين ، والبريميدنات ـ السيتوسين، واليوراسيل ، والثايمدين، والسكر هو اما ريبوز او دي اوكسي ريبوز (deoxyribose = ريبوز ناقص الاوكسجين)• قبل التطرق الى تكون لبنات بناء الدنأ يتوجب علينا أن نبحث التواجد ما قبل الحيوي لهذه المكونات البنيوية الثلاثة•

اوضحت تجربة ميلر الجسر الرابط بين المقومات الغازية لجو بدائي الى المواد العضوية للمنظومات الحية • على ما يظهر كانت عملية تثبيت ثاني اوكسيد الكاربون والنيتروجين حدثا شائع الحصول بفعل مصادر الطاقة الطبيعية في تفاعل كان الناتج المتوسط او الوسيط فيه سيانيد الهيدروجين • فاذا امعنا النظر في الدور المكين لسيانيد الهيدروجين بدلا من تركيز اهتمامنا في الحوامض الامينية ، فان المشهد سينتقل الى مجال اوسع•

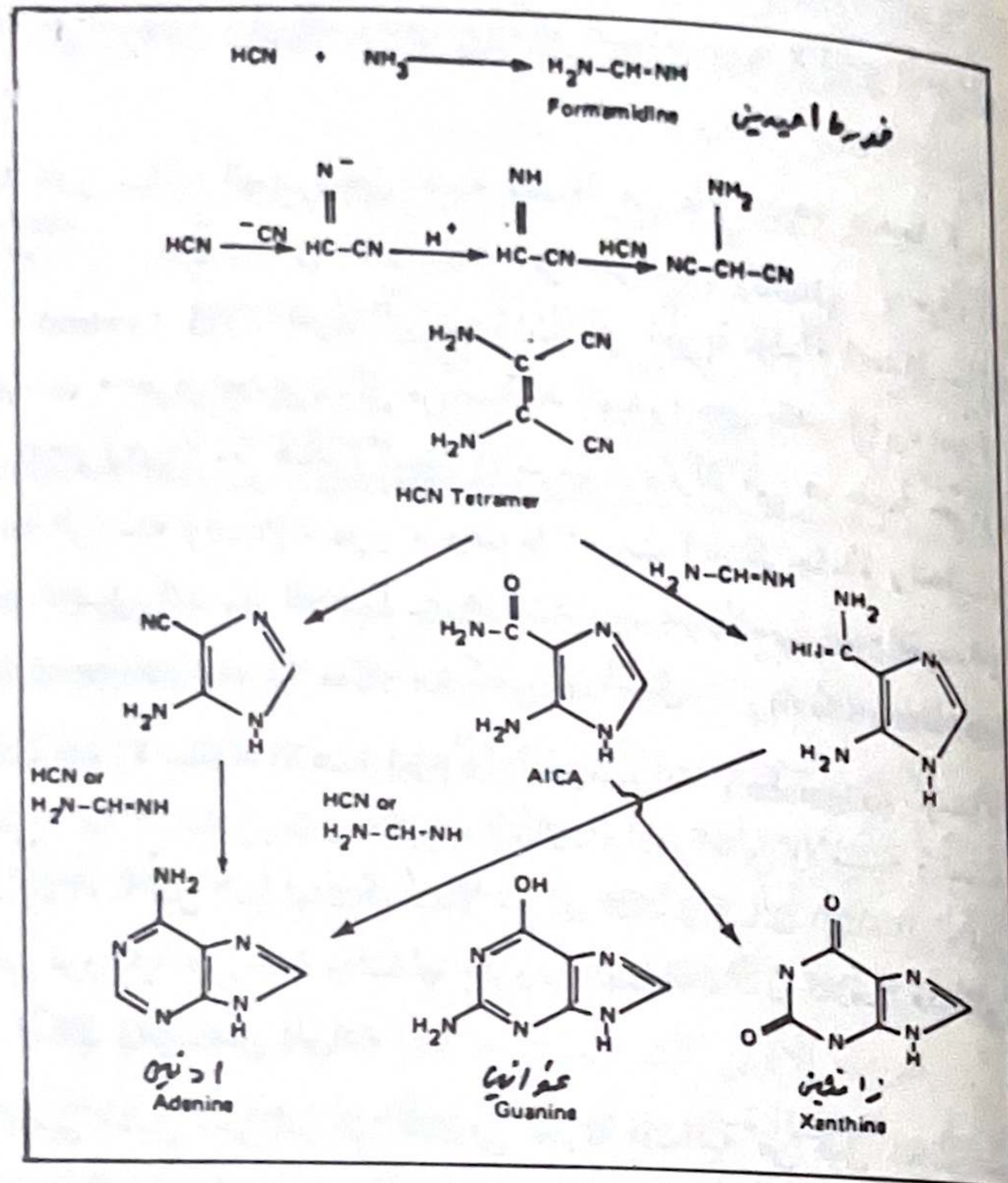


يتحلما سيانيد الهيدروجين الى هيدروكسيد الامونيوم وحامض النمليك، انما مزيدا من سيانيد الهيدروجين مع هيدروكسيد الامونيــوم يفضي الى سيانيد الامونيوم • كان يمكن أن يؤدي اغتسال السمـادات البدائيـة في بحيرات واحواض او منخفضات ضحلة مع تبخرات دورية حتى اليبوس او ما يدانيه الى تراكم مقادير كبيرة من هذه المادة الكيميائية وتركزها على ارض حديثة العهد•

في عام ١٩٦٠ قام خوان اورو[١] (Juan Oro) من جـامعة هيوستن بتسخين سائل مركز من سيانيد الامونيوم لمدة يوم واحد في درجة حرارة قدرها تسعون (٩٠°) مئوية•وعندما قام بتحليل العينة فيما بعدبحثاعن منتوجات لها أهمية بيولوجية محتملة ، اكتشف انه كان قد قام بتمثيل الادنين ، القاعدة الهيتروسيكلية الرئيسة في حوامض النوويك والعديد من الانزيمات المساعدة الهامة•

ظهر ان ٤ــامينوايميدازول (4-aminoimidazole) (AICA) وفورماميدين (formamidine) كانا الوسيطين المحتملين • وفي تجربـة تعقيبيــة قام اورو وكيمبال[٢] (Kimball)بتسخين سائل (AICA) الى درجات حـرارة تتـراوح ما بين مائة ومائة واربعين (١٠٠ــ١٤٠°) مئوية وحصلا على بيورينتين اثنتين اخرين ، غوانين وزانثين (xanthine) ،كل منهما في حصيلة بنسبة قدرها واحد ونصف بالمائة (٥ر١٪) • وفي تجربة اخرى مع اس اس كامات[٣] (S.S. Kamat افضى تسخين سيانيد الهيدروجين مضافا الى ٣ عياري هيدروكسيد الامونيوم في درجة حرارة سبعين (٧٠°) مئوية لمدة خمسة وعشرين (٢٥) يوما الى انتاج الغلايسين والالانين وحامض الأسبرتيك بين المنتوجات الاخرى• وتم تأييد هذا التمثيل للادنين والحوامض الامينة من سيانيد الامــونيوم من قبل سي (c.u. Lowe) وغيره[٤] الذين اعلنوا عن تحصيل خمسة وسبعين (٧٥)

منتوجا من النهدرين موجب (ninhydrin-positive) من هذا التفاعل • (راجع البياني التالي)•



ربما كانت بعض البيورينات قد بدأت تتكون على الأرض البدائية حتى قبل تبخر سيانيد الامونيا المركز • لقــد ابان ليزلي أورجل (Lesile Orgel) وجماعته[٥] من معهد صولك فيلاجولا بكاليفورنيا انالضوء ما فوقالبنفسجي

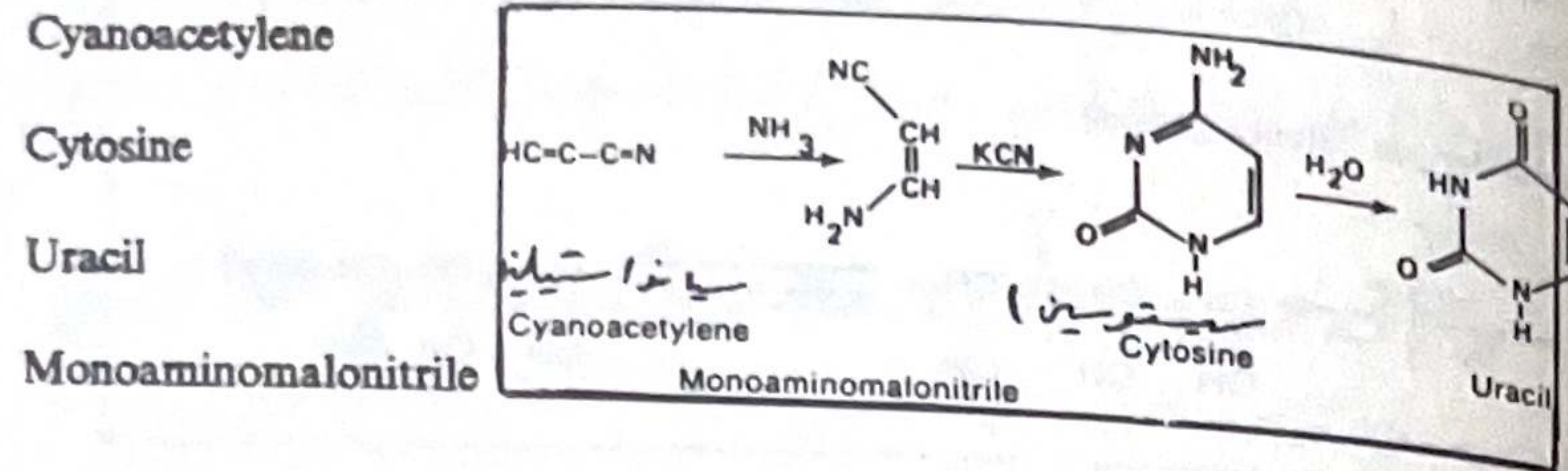
يسفر عن استحالة تترام سيانيد الهيدروجين الى مونوامينو مالونتريل (monoaminomalonitrile) • بامكان هذا الوسيط المهم ان يتفاعل مع سيانيد الهيدروجين اضافي ليعطي الادنين، او بامكانه التحلمؤ الى AICA الذي يمكن ان يتكاثف مع السيانيد ، او الفورماميدين ، او السيانوجين، لانتاج الغوانين والزانثين•

اتخذ دور سيانيد الهيدروجين اهمية مضافة في عام ١٩٧٧ عندما قام جيه.بي.فيريس (J.P. Ferris) ، وجيه سي جوشي (Joshi) وجيه جي لوليس[٦] (J.G. Lawless) بعزل البريميدينات من تجربة حلمأة احدالسيانيد (a cyanide) • جرى تعديل سائل من سيانيد الهيدروجين بقدر (١ر٠)مولار الى بد (PH) (٢ر٩) مع هيدروكسيد الامونيوم وترك في درجة حرارة لما بين اربعة الى ستة (٤ـ٦) شهور • وعندما اجريت آنذاك حلمأة وتحليل خليط التفاعل كانت الحصيلة ٤،٥ـدايهيدروكسي بيريميدين (4,5-dihydroxyprimidine) و٥ ـ هيدروكسي يوراسيل (5-hydroxyuracil)

اعطت صورة سيانيد الامونيوم واوليغومرات (oligomers) سيانيد الهيدروجين كطلائع البيورينات والبريميدينات والحوامض الامينية وحدة مرضية للكيمياء ما قبل البيولوجية• فبدلا من أن تتكون لبنات البناء البروتينية والحوامض نوويكية على حدة والتقائها بظروف الصدفة ، كان كلاهما قدتكون في نفس المكان ومن نفس المواد•

تم تحقيق تمثيل آخر للبريميدنات في تجربة افتعالية من قبل مجموعة من معهد صولك[٧] باستعمال السيانواستيلين وهو الوسيط الثاني الاكثر انتشارا المنتج في تجارب التفريغ الكهربائي• أعلن سانجيز (Sanchez) وآخرون ان عند تسخين تركيز من (١ر٠ مولار) من السيانواستيلين في سائل من

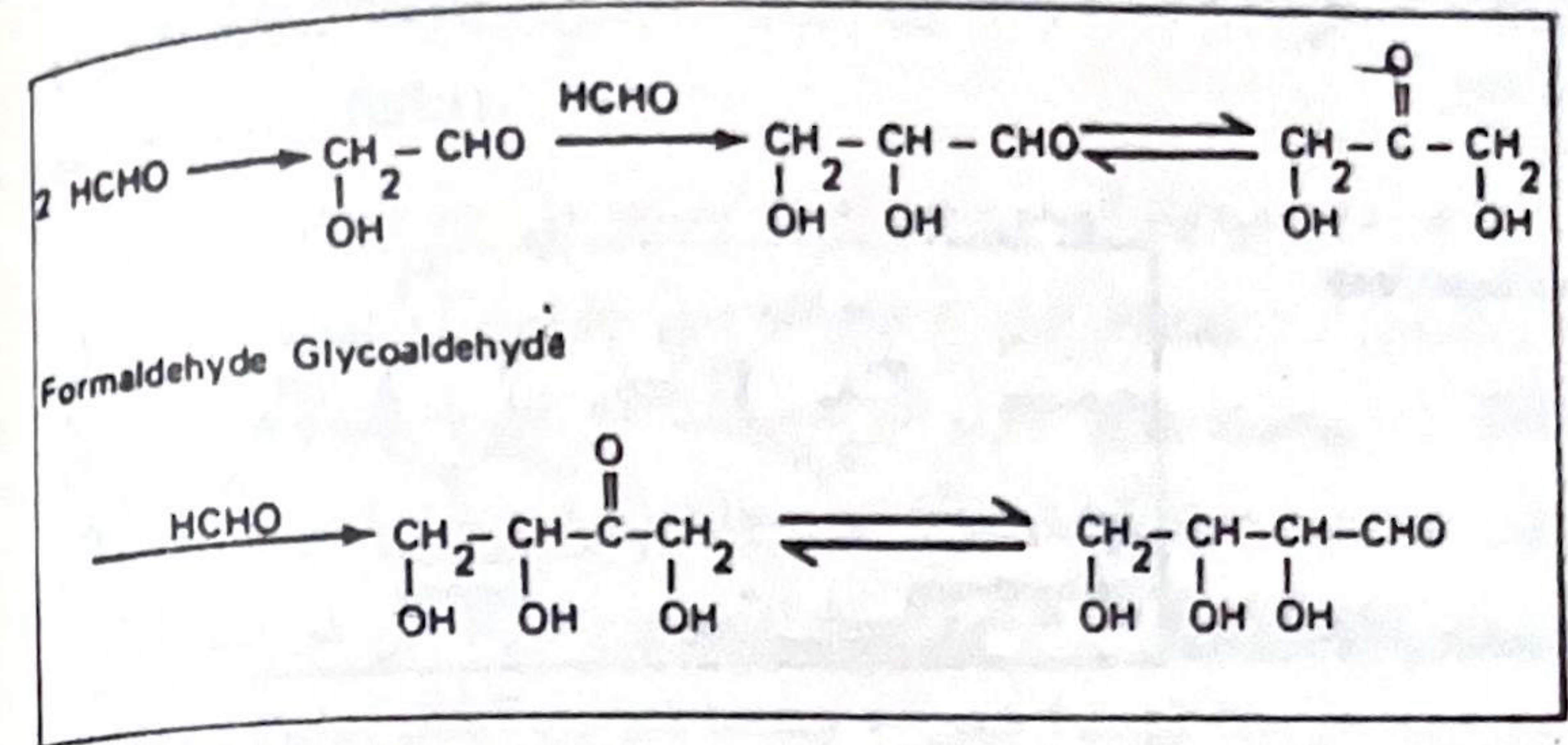
(١ مولار) من سيانيد البوتاسيوم بدرجة حرارة مائة (١٠٠°) مئوية لمدة يوم واحد أعطى حصيلة قدرها خمسة بالمائة (٥٪) من السيتوسين، وأعطى التفاعل بدرجة حرارة الغرفة لمدة سبعة (٧) ايام حصيلة قدرهــا واحد بالمائة (١٪)• ومتى ما تكون السيتوسين تبعه اليوراسيل بحلمأة سهلة بسيطة • (راجع معادلة التفاعل التالية)•



بكل وضوح كان من شأن تكون سيانيد الهيدروجين والسيانواستيلين من غازات الارض البدائية اطلاق سيانيد الامونيوم واوليغومرات الهيدروجين، وفي الاخير الحوامض الامينية ، والبيورينات ، والبريميدات اللازمة للبنات البنائية المهمة بيولوجيا للبروتينات وحوامض النوويك• أما القواعد الهتروسيكلية فيلزم تكثيفها مع سكر وحامض فوسفوريك لصنع النووتيدات لبلمرة حوامض النوويك•

للوهلة الاولى كان التمثيل ما قبل الحيوي للسكاكر ليبدو من اسهل التجارب الافتعالية للاستنباط • الفورمالديهايد هو أحد المواد العادية المكونة في التجارب لما قبل الحياتية، ومنذ عام ١٨٦١ كان بيوترلو (Buterlow) قداوضح ان الفورمالديهايد يتعرض للتكثف في السوائل القلوية لانتاج السكاكر •وبعد تكوين الغليكوالديهايد (glycoaldehyde) تتجه عملية التمثيل الى السكاكر الاعلى، كالتتروز والبتوز والهكسوز، بما فيها الريبوز والغلوكوز

tetrose = رباعوز، pentose = خماسوز، hexose = سداسوز، (glucose, ribose) .



مهما كان تكثف الفورمالديهايد يبدو محتملا لتمثيل السكاكر في ما قبل الحياة، فانه توجد اعتراضات كيميائية خطيرة . ان التفاعل يقع فقط في تركيزات أعظم من (٠١ر٠) مولور ، مع ان السكاكر المونومرية غير مستقره في الماء ، لاسيما اذا كان بدس (PH) دون (٧) بكثير . ومشكلة أخرى هي ان السكاكر تتفاعل مع الحوامض الامينية بتفاعل ميلارد (Maillard) المتقتم (browning) لتشكيل منتوجات لابيولوجية . ولما كان يلزم الافتراض ان الترتيبة الابسط لنشأة الحياة هي حيث كانت جميع المكونات البادئة قد تكونت وتواجدت معا بنفس الوقت. فانه يتوجب الاخذ في الاعتبار التفاعلات التي كانت ستولد منتوجات خاملة . يبدو ان هذا يكفي لاستثناء السكاكر ، انما في الواقع يوجد سكر، فقط حيوي الضرورة للتجميع الابتدائي لخلية وظيفية ، وهما الريبوز والدي اوكسي ريبوز، المكونان الجوهريان للنووتيدات. بهذا الصفة تزول المشاكل الكيميائية مع السكاكر ، فأن الريبوز المربوط بشكل

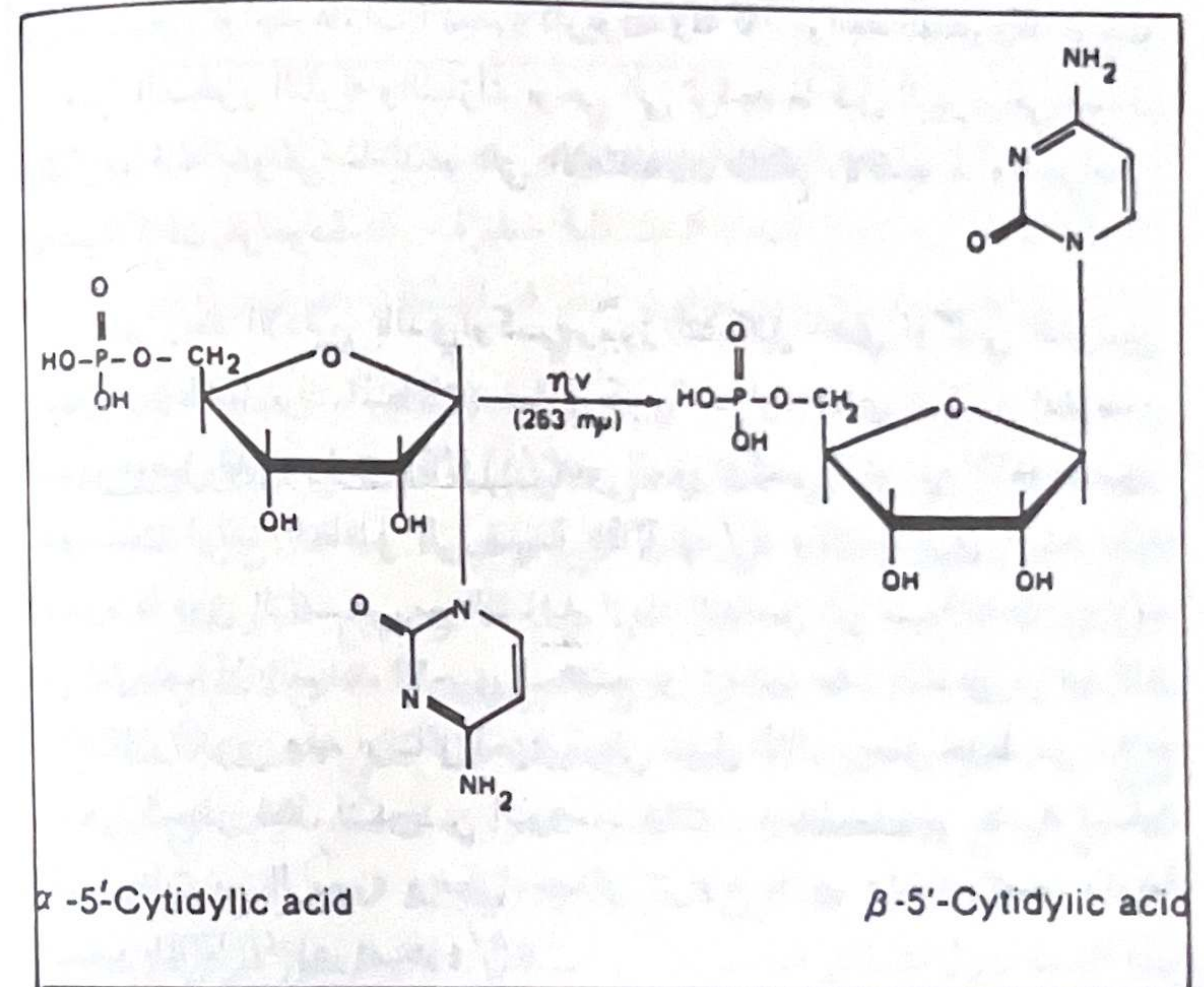
يكف عن امتلاكه اللااستقرارية الفطرية للسكاكر .

قام اورو واي سي كوكس[٨] (A.C. COX) بتحري أحوال ملائمة حيث كان يمكن ان يتكون الريبوز والدي اوكسي ريبوز على الارض البدائية . ووجدا أن المحاليل المائية للاسيتالديهايد (CH_3CHO) مع الفورمالديهايد (HCHO) ، او الغليسرالديهايد (CH_2 OH-CHOH-CHO) محفزة باوكسيد الكلسيوم في درجة حرارة خمسين (٥٠°) مئوية اعطت حصيلة قدرها ثلاثة بالمائة (٣٪) من الدي اوكسي ريبوز، وثبت ان هيدروكسيد الامونيوم محفز اكثر فعالية .

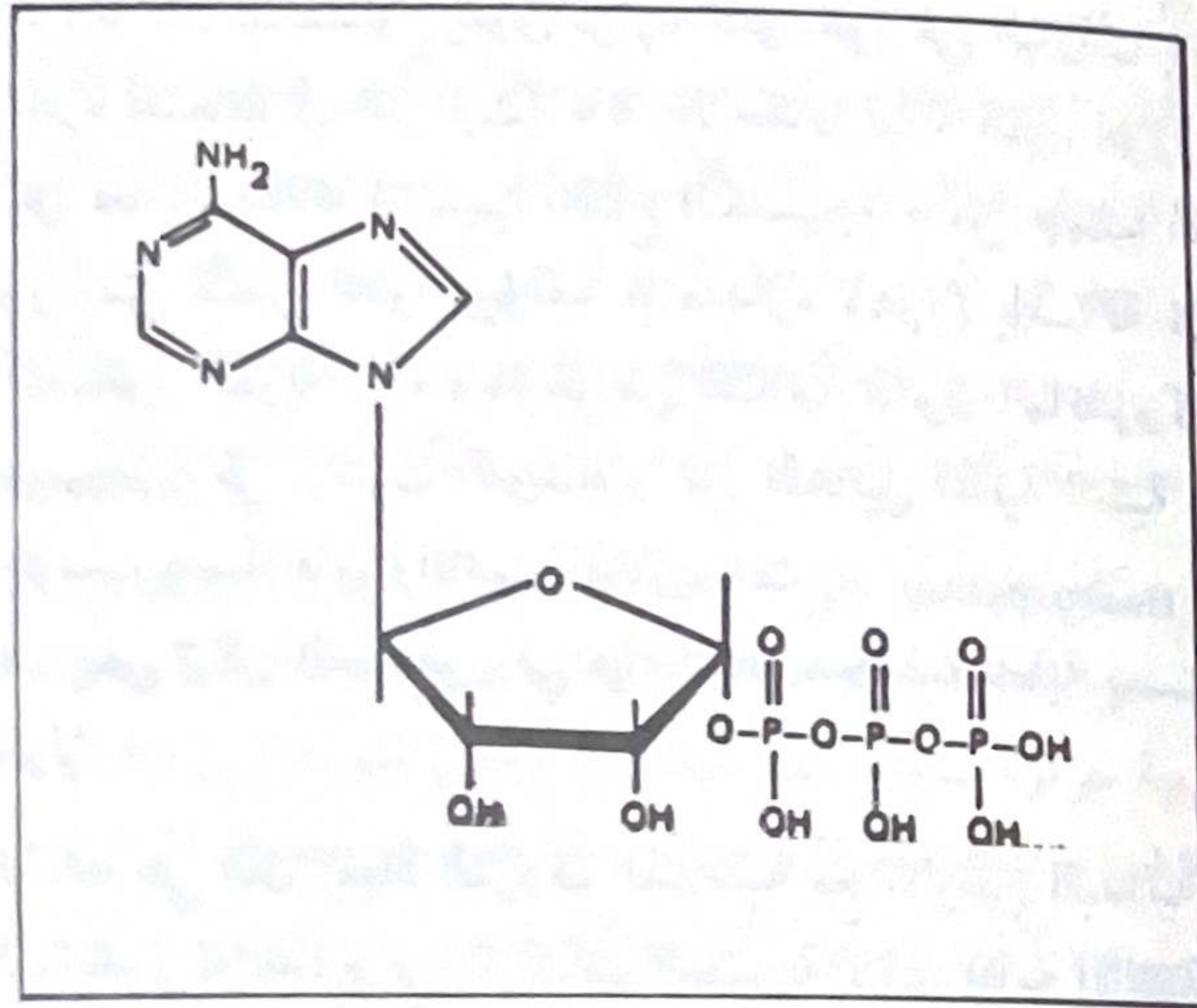
ان توليد الفورمالديهايد والاستالديهايد بالتفاعلات على الجو البدائي كان سيستلزم تواجد غازات الهيدروكاربون، ولما كان تواجد الهيدروكاربونات في بعض الصخور النارية والنيازك يوحي الى تواجد ما قبل البيولوجي للميثان ونظائره، فانه يتوخى ما يدعو الى الاعتقاد ان طلائع الالديهايد والحوامض الدهنية كانت موجودة.

يتم ربط الادنين بالدي اوكسي ريبوز لتشكيل الدي اوكسي ادنوسين بسهولة، وعندما ترك المتفاعلان معاً في درجة حرارة الدي اوكسي ادنوسين تكون حاصل قدره واحد بالمائة (١٪) من الدي اوكسي ادنوسين[٩]. وبحضور الفوسفات ارتفع الحاصل الى خمسة بالمائة (٥٪)، وعندما جرى استخدام الضوء ما فوق البنفسجي مع السيانيد ازداد الحاصل الى سبعة بالمائة (٧٪). من المؤسف أن القواعد الاخرى لم تنتج نووتيداتها بهذا التفاعل ، انما كان بالامكان تكوين هذه بوسائل أخرى. على سبيل المثال ، يعمل خليط من املاح البحر كمحفز فعال لتكوين النووسيدات (nucleosides) عند تسخين البيورينات مع الريبوز، ويعطي حصائل تتراوح ما بين واحد ونصف واربعة نصف بالمائة[١٠] (٥ر١ـ٥ر٤٪).

ألا ان هذه الطريقة ليست ناجحة بالنسبة الى البريميدينات • رغم ان نوويسيدات البريميدين لا تتكون من الاتحاد المباشر للقاعدة مع الريبوز، فانه من المعقول أن تكون قد نشأت اقل مباشرة• عند موازنة ريبوز-٥-فوسفات Ribose-5-phosphate مع الامونيا لتكوين الريبوسيلامين (ribosylamine) ومن ثم معالجته بنجاح بالسيانوجين والسيانوائيلين ، كان الناتج الرئيس حامض الالفاسيتيديليك (a-cytidylic acid) • غير ان هذا الشكل البيولوجي هو ايسومر البيتا (B isomer)• ان ضوء الشمس، الذي تم ادخاله في معظم تجارب الافتعال، يلعب دورا حاسما هنا عندما جرى تعريض حامض الفاسيتيديليك للضوء ما فوق البنفسجي، تم تحويل ما يبلغ عشرة بالمائة (١٠٪) الى حامض بيتا ستيديليك، وهو الايسومر الذي تستخدمه المنظومات البيولوجية[١١]•



للانتقال من النوويسيد الى النوويتيد يستلزم الفسفرة او ربط مجموعة من حامض الفوسفوريك بحصة السكر• هذه الخطوة شديدة الصلة بالمشكلة العمومية للتكوين ما قبل البيولوجي لمشتقات الفوسفات• ان المركب الذي عادة ينقل الطاقة الكيميائية في المنظومات البيولوجية هو الأتب، أي ثلاثي فوسفات الادنوسين، والطاقة من حلمأة رابط البيروفوسفات بتجريد الأتب الى أدب، ثنائي فوسفات الأدنوسين، هي التي تضرم التفاعل في عمليات التمثيل البيوكيميائية • كانت البيروفوسفات جوهرية الضرورة منذ البداية ، والأن يملك الاستقرارية والتفاعلية اللتين تجعلانه في غاية الصلاحية للمهمة



الشكل ١/١٨ – بنية ثلاثي فوسفات الادنوسين (ATP اتب)•

لما كانت حوامض النوويك هي بوليمرات من النوويتيدات مرتبطة بواسطة المجموعة الفوسفاتية من مجموعات سكاكرها في ترابط اسهامي قوامه (3'-5'-linkage) ، فلابد انه تواجدت على الارض البدائية وسيلة

ما قبل بيولوجية ملكت القدرة على فسفرة النووسيدات، فأذا توفر ما يبرر تواجد جيولوجي لحامض الفوسفوريك ومشتقاته فانه لن تواجه اية صعوبة في اقامة التجربة الافتعالية • عند اذابة النووسيدات في حامض البولي فوسفوريك في درجة حرارة ما بين صفر الى ٢٢ (٠–٢٢°) مئوية ، نحصل على ناتج يتراوح ما بين (٢٥) الى (٤٥) بالمائة من المونوفوسفات[١٢]• لكن حصول حامض البولي فوسفوريك في الاحوال الجيولوجية مستبعد جدا ويتعذر معه اعتباره جوابا شافيا•

ان الصعوبة مع الفوسفور هي شدة عدم ذوبان املاحه الكلسيومية ، أي الاباتيت ، ولما كان الكلسيوم يفوق غزارة الفوسفور في البازلت بزهاءعشرين ضعفا (عشرة أضعاف في الغرانيت) فانه بالامكان ازالة الفوسفور من مياه البحر بكل فعالية، وذلك بترسيب املاح الكلسيوم • من جهة أخرى ان الفوسفور ليس عنصرا نادرا ويؤلف ما مقداره (٦ر٠) بالمائة من المحتوى الفلزي للصخور النارية[١٣]• وبالرغم من امكانية تكون الهايدروكسي اباتيت (hydroxyapatite) في ترسيب الفوسفور من المحاليل المائية النقية ، فأنه بيئة بحرية يترسب بصفة فلوروواباتيت الكاربونات (carbonate fluoroapatite) بالنتيجة ، يبقى تركيز الفوسفور في مياه البحر منخفضا للغاية بمستوى (٢ر٢) ميكرومولار•

المشكلة هي اذن ايجاد الظروف المتناسبة مع الارض البدائية امكن فيها توفر الفوسفور للاندماج في المركبات العضوية ، أي اقامة الامثلة الايضاحية لشكل كيميائي من هذا العنصر ملك المقدرة على اتيان التفاعلات التفسفرية• وقد تمكن ستانلي ميلر وباريس[١٤] (M. Parris) من انتاج البيروفوسفات على سطح الهايدروكسي اباتيت بأملاح السيانات • وبما ان بيروفوسفات الكلسيوم مقاوم للذوبان مثلما هو الاباتيت ، فان اية عملية تمثيل حصلت

كان سيترتب حصولها على السطح البلوري• وهذا امر يمكن تصوره ، ولكنه ليس مقنعا حقا، ويبدو ان شكلا آخر من الفوسفات له قابلية ذوبان اكثر مع ظهور الخلية الوظيفية سيكون اكثر عقلانية•

طرح ألان شفارتس[١٥] (Alan Schwartz) من جامعة نيميجن (Nijmegen) بهولندة ، طريقة كان يمكن جعل الفوسفات بها قابلا للذوبان ومركزا ضمن مستوى وظيفي• ان حامض الاوكساليك (oxalic acid) عامل شديدالتشبيك (complexing) للكلسيوم • فاذا بلغ هذا الحامض، الذي كان ممكنا تكونه من تفسخ الغلايسين او حامض النمليك او بتحلمؤ السيانوجين ، تركيزاقدره (٠١ر٠) مولار في (س يد ٥ (PH5) بملامسة الاباتيت ، فانه سيحرر الفوسفات بقدر (٠٠٣ر٠) مولار ، وهذا مقدار كبير نسبيا من الفوسفات في المحلول • يرى شفارتس انه كان بامكان السيانوجين كغاز قابل للذوبان في الماء ومتواجد في الزمن ما قبل البيولوجي ان يوفر امدادا متواصلا من الاوكسالات (oxalate) في كل سطح صخري معرض للتعرية ، وان مشتقات حامض الفوسفوريك كانت لتكون متوفرة من خلال هذه الوسيلة•

متى ما امكن التغلب على صعوبة اثبات التواجد الجيولوجي لاملاح حامض الفوسفوريك، فانه توجد تفاعلات تفسفرية معلومات كان حصولها ممكنا• عند رفع درجة حرارة تسخين نووسيدة من (٥٠°) مئوية الى (١٦٠°) مئوية مع عدد من مركبات فوسفات الهيدروجين، يسفر هذا عن حصول المونونووتيد[١٦] (mononuteotide)• لكن تفسفرا اكثر فعالية يحصل مع اليوريا • فعند تسخين النووسيدات الى درجة حرارة (١٠٠°) مئوية في خليط يابس من اليوريا ، يتم تحويل فوسفات هيدروجين الصوديوم وكلوريد الامونيوم وبيكاربونات الامونيوم الى مشتقات فسفرة بمقادير تتجاوز تسعين بالمائة (٩٠٪)[١٧]•

لقد ظهرت اليوريا كناتج في أغلب التجارب الافتعالية للاحوال ما قبل

الحيوية وليس انها كانت منتشرة بكثرة على الارض البدائية ، ولابد انها كانت موجودة في كل سوائل سيانيد الامونيوم المكشوفة لأن الاشعاع ما فوق البنفسجي يحفز تحويل سيانيد الامونيوم الى اليوريا. وعند اجراء المزيد من الدراسات على تفاعلات التفسفر المحفزة باليوريا اكتشف ايل اوستربرغ (L. Osterberg) وايل اي اورجيل (L. E. Orgel) وآر. لورمان[١٨] (R. Lohrman) ان عندما تتجاوز الفوسفات النووسيدات في الخليط يؤدي ذلك الى تكوين اربطة البيروفوسفات • وقد اسفر التسخين لمدة اربعة ايام بدرجة حرارة (١٠٠°) مئوية عن حصول ناتج قدره (١٥) بالمائة من ثلاثي فوسفات الثايمدين.

اذن يبدو ان ثلاثي فوسفات النووسيد ظهرت في الزمن ما قبل البيولوجي في ظروف جيولوجية معقولة في الظاهر. ان الشرط الجوهري لذلك كان تواجد الفوسفات كأملاحها الحامضية • ولكي تتصور كيف امكن ان يحصل هذا يتحتم علينا العودة الى الوسط القائم لأقدم المتعضيات المجهرية على الارض.

تتألف صخور مسلسل انفرواخت التي تقع فيها الاحافير المجهرية من احجار صوانية أو ظرانية خام فوق صخور بركانية دون مائية بارزة • ورغم ان الاحجار الصوانية موجودة في متسعات افقية ، فانها في الغالب تحصل كجيوب في سطح اللابا العتيقة. ان ما حصل آنذاك هو لربما نفس ما يحصل اليوم في العديد من هذه البوارز، والماء الحديث العهد المندفع الى السطح اما بفعل الاندلاعات البركانية او الانبثاقات النافورية غني للغاية بالمغذيات ، فهو مفعم بثاني اوكسيد الكربون وفلزات الفوسفور والكبريت والنيتروجين الجوهرية الضرورة. ربما ان درجة حرارة البراكين العالية تحرر الفوسفور من الفلزات في الصخور النارية وترفعه الى السطح كأملاح حامضية

قابلة للذوبان فتقوم باغناء مياه البحيرات البركانية.

ونفس الظاهرة تبدو بجلاء اليوم حيث غالبا ما تنمو الاحياء المجهرية للغدران البركانية بغزارة شديدة وتشكل طبقات قشرية تتسع حتى تغطي في النهاية اسطح هذه الغدران بأكملها • وعندما تكون البحيرات كبيرة مثل بحيرة وائمونغو بنيوزيلندة يؤدي هذا النمو الى تكون طبقات قشرية عند الحواف وتمتد على مسافات شاسعة نحو وسط البحيرة[١٩]. ومن الممكن تماما ان تكون الحياة قد بدأت على الارض قبل اكثر من ثلاثة آلاف وخمسمائة مليون سنة خلت ليس في بحر ذي قوام «الحساء البدائي» وانما في الغدران البركانية الغنية بالفوسفور والكبريت التي كانت منتشرة على سطح الارض اثناء الدهر الاركي.

الفصل التاسع عشر ـ الهضميتيدات (Polypeptides

جاء اكتشاف الطريقة التي تمكنت الحوامض الأمينية والنووتيدات بها من التكون على الارض البدائية ليملأ الفجوة القائمة بين الجيولوجيا اللاعضوية وبين الوحدات العضوية الاساسية للمنظومات البيولوجية • لكن بعد اجتياز هذه العقبة نجد انفسنا على مشارف هوة سحيقة أخرى قبل أن تمكن من تشييد مثال يصور لنا الاصول الكيميائية للحياة • لا توجد اية صفة للحياة في الحوامض الامينية والنووتيدات ، ولا تأتي المنظومة الحية من اللبنات البنائية ، بل من التفاعل المتسق لبيوبوليمراتها، وجملة العلاقة بين الحوامض النوويك والانزيمات هي التي تشكل أساس البيولوجيا•

وهنا بالذات تكمن المشكلة • ففي المتعضيات ، كما نعرفها تقوم الانزيمات بتحفيز جميع التفاعلات البيوكيميائية ، بما فيها التفاعلات التي تفضي الى تمثيل حوامض النوويك والانزيمات بذاتها• فاذا كانت الانزيمات معا، وكلاهما مطلوب لصنع الانزيمات، من أين اذن جاءت الانزيمات بادىء ذي بدء؟

مثلما كانت النظرة في الخمسينات من هذا القرن تشدد التوكيد على الحوامض الامينية بصفتها اللبنات البنائية الاكثر أهمية ، كذلك ايضا يبدو انه ظهر توكيد على ايجاد منشأ لا حيوي للبروتينات ، وبالتالي للانزيمات، بناء على الاعتقاد السائد ان متى ما تكونت الانزيمات يصبح معها تمثيل جميع المكونات الاخرى ممكنا• ربما كان أقرب الى الذهن التفكير بالظهور اللاحيوي لبولي هضميتيدة ذات خواص انزيمية مما هو تصور تكون جينة خارج منظومة بيولوجية، وهي التي يمكنها أن تحصل في المتعضيات المعاصرة بوزن جزيئي يعد بالملايين• انما يبدو محتملا ان الاهتمام الموجه الى البروتيينات

نبع من حقيقة كون الخبراء البيوكيميائيين اعرف بالحوامض الامينية والكيمياء الراسخة المقررة لبلمرتها الى بولي هضميتيدات في المختبر.

كان الكيميائيون يحاولون بلمرة الحوامض الامينية بتسخينها منذ ما قبل قيام أف هوفمايستر[١] (F. Hofmeister) اي فيشر[٢] (E. Fischer) بتثبيت الطبيعة البولي اميدية (Polyamide) للبروتينات • في عام ١٨٩٧ قام هيوغو شيف (Hugo Schiff) بتكثيف حامض الاسبرتيك في درجات حرارة ما بين (١٩٠، ٢٠٠°) مئوية، وبعد ذلك بثلاث سنوات قام ايل بالبيانو (L. Balbiano) ودي تراشياتي (D. Trasciatti) باعداد البولي غلايسين من تسخين الحامض الاميني في الغليسرول، وعند تسخين الغلايسين بدون مذيب نتج عنه خليط من الهضميتيدات وانهايدرات الغلايسين[٥]. لكن يقينا ان عملية البلمرة الحرارية الاكثر نجاحا للحوامض الامينية كانت تلك التي قام بها والاس كاروذرز (Wallace Carothers) في عام ١٩٣٦ اثناء اشتغاله بشركة دوبون (Dupont) حين قام بتسخين حوامض اوميغا الامينية (omega-amino acids) التي تقع المجموعة الامينية فيها على ذرة الكاربون الابعد من نهاية الكربوكسيل، وحصل على بوليمر البولي اميد (polyamide polymer) الذي أصبح فيما بعد معروفا بأسم نايلون[٦] (Nylon)

ان تفاعل البلمرة هو خطوة تجفيفية او نزع الماء (dehydration) وهي عكس الحلمأة (hydrolysis) • ومعنى هذا هو انه يلزم ازالة جزيئة من الماء لكل ترابط اسهامي (linkage) هضميتيدي يتكون عند تكثيف الحوامض الامينية • وعليه فان السبيل المنطقي الى انجاز البلمرة هو ايجاد أحوال تجفيفية أو نزعمائية مطابقة• أما الرأي الكثير الشيوع بأن جزيئات ضخمة تكونت من تكثف المونومرات في زمن ما قبل البيولوجي في أحد البحار البدائية فهو غاية من السذاجة لأنه لا يأخذ في الحساب الاحتياج

الديناحراري (thermodynamic) أو الثرموديتامي البالغ ٨ـ١٦كج/م لتكوين الرابط الهضميتيدي• ان حقيقة نشوء ونمو المتعضيات في البحار لا يعني بالضرورة ان جوهريات الخلية الوظيفية الاولى تكونت هناك•

من أقدم المحاولات لاكتشاف الاصل ما قبل البيولوجي للانزيمات او بوليمرات الحوامض الامينية شبه الانزيمات كانت تلك التي قام بها سيدني فوكس (Sydney Fox) حاليا بجامعة ميامي• في ورقة اعدها بالاشتراك مع ام ميدلبروك[٧] (M. Middlebrook) تم تقديمها الى الجمعية الامريكية للكيميائيين البيولوجيين في عام ١٩٥٤ أعلن فوكس ان تسخين بعض الحوامض الامينية بدرجة حرارة (٢٠٠°) مئوية لمدة نصف ساعة الى ثلاث ساعات اسفر عن انتاج البوليمرات اللامائية (anhydropolymers) ، وقام بمقارنة نتائج هذه التكثيفات بورقة سابقة له تتضمن وصفا لانتقائية الحوامض الامينية، أي جنوحها الى الاقتران ببعضها في تكثيف انزيمي التحفيز[٨]•

ثم في عام ١٩٥٩ أعلن اس دبليو فوكس (S.W. Fox) وكيه هارادا K. Harada وأي فيغونسكي[٩] (A. Vegotsky) عن البلمرة الحرارية للحوامض الامينية في ورقة يؤيد فيها نظرية تفيد ان التمثيل الحراري للبيوكيميائيات سبق نشأة الحياة في تطور ما قبل البيولوجي يشبه مسالك التمثيل الحيوي• على سبيل المثال، عند تسخين حامض التفاحيك (malic acid), مع اليوريا او الامونيا، يسفر عن ذلك عن حامض الاسبرتيك[١٠]، وبدوره يمكن تجريد حامض الاسبرتيك الى ألانين الفا او بيتا (a-or B-alanine) زيادة ذلك، تفاعل حامض الاسبرتيك مع اليوريا بوجود الكلسيوم أو هيدروكسيد المغنسيوم لينتج عنه حامض اليوريدوسكسينيك ureidosuccinicaid وهو وسيط في التمثيل الحيوي biosynthesis لبريميدينات• وقد كانوا يولدون بتسخين ملح احد الحوامض من دورة كريبس

(Krebs cycle) منتجات تتكون بيوجينيا (biogenetically) بطريقة مماثلة • كانت فرضية مثيرة للاهتمام لكن التناظر التناسبي انطبق فقط على بضع بُنى بسيطة ولم تشمل طرائق التمثيل الحيوي بكليتها.

كان البيوكيميائيون يعلمون ان تسخين خليط من الحوامض الامينية بالنسب الموجودة في البروتينات يؤدي الى التحلل الحراري ينتج عنه قار اسمر قاتم ذو رائحة كريهة • وبما ان حامض الاسبرتيك يتبلمر بسرعة بالتسخين انما حامض الغلوتاميك لا يفعل ذلك الا بمجهود ، فقد اكتشف فوكس وهارادا أن خلط وتسخين حامض الغلوتاميك مع حامض الاسبرتيك أدى الى بلمرتها معاء غير انه باستثناء الغلايسين لا تشكل الحوامض الامينية المحايدة بوليمرات مماثلة بسبب العائق الحيزي، أي ترتيبة الذرات في الجزيئة • لكن عند استخدام خليط من الحوامض الامينية أغلبه من حامضي الاسبرتيك والغلوتاميك مع خليط متساوي الجزيئي الغرامي (equimolar) من الحوامض الامينية الستة عشر الاخرى بنسبة (١:٢:٢) تمكن فوكس وهارادا من تسخين خليط من الحوامض الامينية لحد ماء (ديلزة =Dialysis الفرز بالانتشار الغشائي).

أعلن عن هذه الطريقة في عام ١٩٥٨ بوصفها البلمرة الحرارية للحوامض الامينية الى ناتج يشبه البروتين[١١]. لقد نتج عن تسخين خليط من الحوامض الامينية يتضمن ثمانين بالمائة (٨٠٪) حامضي الاسبرتيك والغلوتاميك في مغطس زيتي (oil bath) بدرجة حرارة (١٧٠°) مئوية لمدة ثلاث ساعات عن منتوج شبه الزجاج. بعد اذابة هذه المادة في الماء، وفرزها غشائيا ، وتجفيفها بالتجميد ، أعطى تحليل المسحوق البني الناتج وزنا متوسط السلسلة (=mean chain weight وهو وزن جزيئي) قدره (٤٩٠٠) يتضمن (٧١٪) حامض الاسبرتيك و(١٥٪) حامض الغلوتاميك و(١٤٪) من جميع الحوامض

الأمينية الاخرى مجتمعة • ومن تحليل الحوامض الامينية العيارية الطرف (N-terminal) تم الاستنتاج ان البوليمر تضمن ترتيبة لا عشوائية من المونومرات.

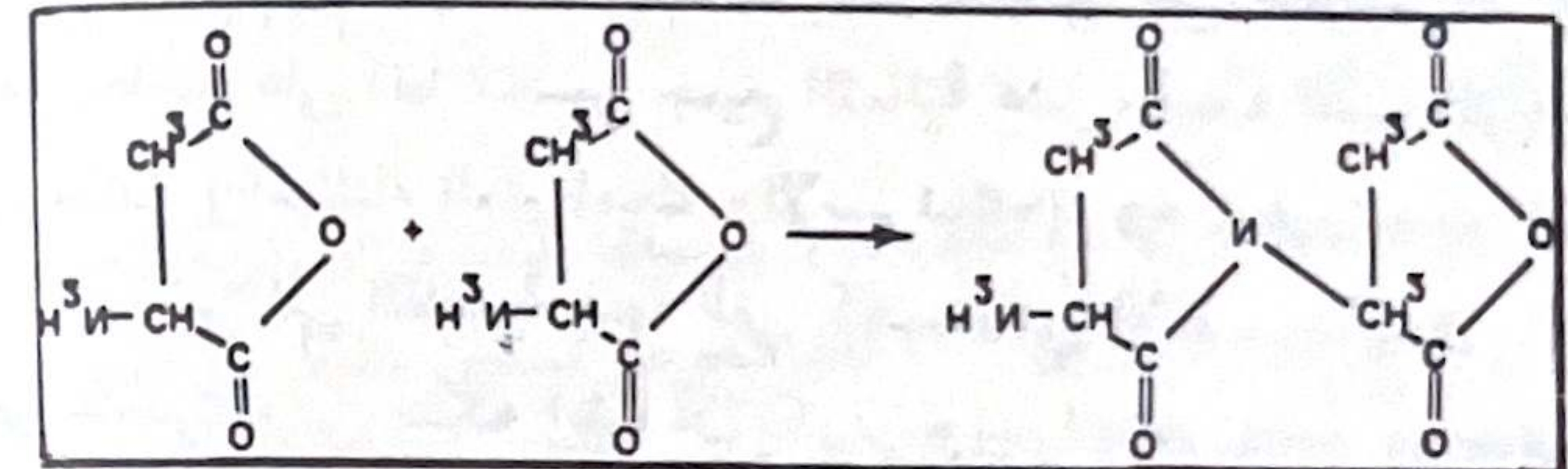
لقيت فكرة امكان عمل بوليمرا يشبه البروتين بتسخين تناسب صحيح من الحوامض الامينية اهتماما كبيرا خلال السنوات الستينية من هذا القرن وجرى نشر عدد كبير من الاوراق تحاول اقامة علاقة تناظرية بين العديد من الخواص المادية والكيميائية للبروتينات وبين هذه البوليمرات الحرارية[١٢]. كانت أغلب المقارنات للخواص اللاحرجة كاختبارات الالوان او التحليلات العنصرية الناشئة عن الحوامض الامينية أو الروابط الاسهامية الهضميتيدية القصيرة • من جهة أخرى أخفقت هذه البوليمرات الحرارية في ابداء أي تجاوب حصين عند اختبارها لتوليد التضادية[١٣] (antigenicity) وهو اختبار حساس للغاية للبنية البروتينية.

أطلق فوكس اسم شبه البروتين (protenoid) على البوليمرات الحرارية هذه، وحاجج على انها تتضمن جميع الثمانية عشر حامضا امينيا الموجودة في البروتينات (باستثناء الغلوتاميك والاسبرتيك)، وجرى تمديد اصناف شبه البروتين الى القاعدية منها التي كانت في الاغلب ليسين (lysine) وهو حامض أميني يمكنه ايضا أن يكون بوليمرا متجانسا (homopolymer) وجد مسلسل من الخواص التحفيزية الضعيفة للغاية في بوليمرات حرارية مختلفة اعتبرت انشطة شبه أنزيمية[١٤].

وبسبب لا تجانسيتها، تعذر التثبت من الترتيبة للحوامض الامينية في هذه البوليمرات الحرارية بالتسييق ، على غرار الاسلوب المتبع اعتياديا مع الهضميتيدات الطبيعية • بالنتيجة ، كان قسط كبير من تفسير فوكس بخصوص البنية موجها لبيان تواجد لا تجانسية محدودة، ولا عشوائية، أي ان

الحوامض الامينية عند تسخينها معا تتكثف مع درجة من الانتقائية الجانحةالى شاكلتها لتكوين سياقات تشبه تلك الموجودة في البروتينات. غير ان انعدام العشوائية واختلاف نسب الحوامض الامينية في بوليمر حراري ليسا دليلا بالمرة على أن ترتيبة الحوامض الامينية تشبه البروتينات. كما توجد تفسيرات اكثر بساطة متمشية مع السلوك الكيميائي .

ان حامض الاسبرتيك ، كيميائيا، هو المشتق الاميني من حامض السكسينيك[١٥]، وهو يتبلمر بسرعة عند التسخين لأن بأمكانه تكوين انهايدريد يتفاعل بعد ذلك مع أية مجموعة امينية متوفرة بما فيهـا تلك في حوامض الأسبرتيك الأخرى تستمر البلمرة فور ابتدائهـا الى أن تستنفد حامض الاسبرتيك المتوفر أو تنتهي بحامض اميني محايد يعجز عند تمديد أو مواصلة العملية.



تمكن فوكس باستخدام خلائط من الحوامض الامينية تتألف في معظمها من حامض الاسبرتيك او الليسين (Lysine)، وهما حامضان امينيان يتبلمران بسهولة الى بوليمرات متجانسة ، من الحصول على بلمرة هذه الحوامض الامينية مع مقادير صغيرة من الاخرى مندمجة بها، امكن بلوغ الاوزان الجزيئية العالية المنسوبة الى البروتنويدات أو اشباه البروتين فقط اذا كان

البوليمر في الجوهر من حامض البولي اسبرتيك أو البولي ليسين . ومن بين سمات هذا التفاعل كانت النسبة الاكبر من الحوامض الامينية المحايدة ، ومعدل الوزن الجزيئي المنخفض للناتج، وهو دليل واضح على ان هذه الحوامض الامينية انهت العملية بالتفاعل معا عند عجزها عن مواصلة البلمرة.

للوهلة الاولى يبدو التحليل بالحوامض الامينية لهذه البوليمرات شبيها بتحليل بروتين قياسي مع النسب المئوية المولية أو الجزيئي غرامية لجميع الحوامض الامينية الثمانية عشر مدرجة في جدول . أما الوهم في تفسير هذا التحليل فانه كمن في اعتبار الاوزان الجزيئية لهذه البوليمرات الحرارية فقط ما بين (٤٠٠٠) الى (٥٠٠٠) . انما بوزن جزيئي قدره (٤٥٠٠) ابان التحليل ان البوليمر تضمن اثنين وعشرين (٢٢) من حوامض الاسبرتيك ، وثلاثة حوامض غلوتاميك وثمانية من الاخرى[١٦]. أما عندما كان الوزن الجزيئي (٤٩٠٠) فتبين ان التركيبة تضمنت (٢٦) حامضا اسبرتيك، وثمانية غلوتاميك، و(٧) من الاخرى. ومعنى هذا هو انه بالرغم من ان ناتج التحليل تضمن جميع الحوامض الامينية الثمانية عشر (١٨) لم يتسع أي من البوليمرين لاحتواء اكثر من سبعة او ثمانية من الحوامض الامينية الستة عشر الاخرى اضافة الى حامضي الاسبرتيك والغلوتاميك في جزيئة واحدة . تحلل العديد من الحوامض الامينية من قبيل التيروسين أو الفنيل الانين بنسبة مئوية بطيئة لدرجة استدعت كون الوزن الجزيئي للبوليمر الحراري أكبر بثلاثة أو اربعة اضعاف ليتضمن حتى مجرد فضلة واحدة. كان واضحا ان النتائج لم تتضمن ما يشير الى التبلمر التزامني لجميع الحوامض الامينية الثمانية عشر في نفس البوليمر ، ثم من حيث التعريف لم تكن البوليمرات الحرارية حتى أشباه بروتين.

قلما يمكن ان يتسرب أي شك الى انه لا يمكن افتعال التمثيل البيولوجي

للبروتينات بمجرد تسخين خليط لا متجانس من الحوامض الامينية ، فالعائق الحيزي سيحول دون تفاعل الحوامض الامينية ذات السلاسل الجانبية المنافرة للماء في التفاعلات الحرارية ما عدا في المواضع الطرفية . وبالنتيجة لا يفعل ذلك الا الحوامض الامينية المعروفة بسهولة تبلمرهـا . أما البروتينويدات أو اشباه البروتينات فقد كانت خلائطا من حامض البولي اسبرتيك أو البولي ليسين منثورة بحوامض الغلوتاميك والغلايسينات وبطرف حوامض امينية محايدة ، وتمديد التسخين او رفع درجات الحـرارة أدى الى زيـادة عدد الحوامض الامينية المحايدة المدمجة ، وهـذا مطـابق مع الرابط الايميدي (imide bond) لحامض الاسبرتيك المكثف المتفاعل مع هذه الحوامض الامينية، مضيفا اياها الى السلسلة الجانبية . كانت البلمرة المتزامنة لجميع الحوامض الامينية الثمانية عشر مبنية على التحليل الحامضي الاميني للناتج الذي ابان ان جميعها موجودة لحد ما. انما هذا لا يشير الى السياق بشيء . عند تسخين حامض بولي اسبرتيك في خليط مماثل من الحوامض الامينية يعطي البوليمر الناتج ايضا تحليلا لجميع الحوامض الامينية بنفس الطريقة كتلك الخاصة بما يسمى بالاشباه بروتينات[17].

اعطت تجربة ميلر حوامض امينية لأنه تم غسل المنتوجـات المتكونـة بالتفريغ الكهربائي في قارورة اعادة التسييل حيث تحلمأت بسرعة . أدى هذا الى اعادة اسقاط المواد الوسيطة خلف الحاجز الديناحراري للتبلمر التلقائي واقامة الحاجة الى تفاعل تكثيفي يستلزم الطاقة لانتاج هضميتيدة، وبدلا من محاولة استحثاث المناطق اللامائية او درجات الحرارة العالية لاعادة المواد المكثفة الى وضعها، قام بعض الباحثين بتقصي أساليب لاستحصـال البولي هضميتيدات بطريقة مباشرة اكثر.

قد يمكن الجواب على تكون الهضميتيدات في تجربة ميلر بذاتها، تم

عزل الهضميتيدات والحوامض الامينية ايضا من المحلول في تجربة الشرارة التي أبقت درجة حرارة الماء فيها على (٤٠°) مئوية[18]. أما عند اقامة التجربة في درجة حرارة الغرفة فلم يتم اكتشـاف الحوامض الامينية الا بعد حلمأة الفضلة الصلبة المستعادة بعد تبخير السائل[19]. كان ساغان وخاره[20] ايضا قد لاحظا هـذه الظـاهرة لدرجـة الحـرارة في دراساتها للضوءكيميائية (photochemical) حيث تم الحصول على صوالب تقبل الحلمأة الى حوامض امينية دون درجة الحرارة(٥٠°) مئوية. يبدو انهذه النتائج تشير بكل وضوح الى ان الحوامض الامينية لا تتكون مباشرة في التفاعل وانما تنتج فقط من خلال حلمأة طلائعها.

وعليه فان طلائع الحوامض الامينية تواجدت في شكل مكثف اسفر عن الحوامض الامينية عند التحلمؤ. يتبلمر سيانيد الهيدروجين في السوائل القاعدية ليعطي خليطا يشمل التترامر (di-aminomalonitrile) وبنتامر (ادنين) وطلائع حوامض امينية بوليمرية وصوالب سوداء جموحة يصعب تحديدهـا يعتقد انها أدت الى التحام البنى التتراهيدروبيريدينية (tetrahydropyridine) قام كليفورد ماثيوز (Clifford Mathews) وروبرت موزر[21] (Robert Moser) بعزل صوالب شبه هضميتيدية من خليط التفاعل وحلمأها الى اثني عشر من الحوامض الامينية العشرين الشائعة في البروتينات ، وبعـد ذلك أعلنا عن تكون منتوجات هضميتيدية مماثلة من حلمأة التترامر ثنائي امينو مالونيتريل[22].

وكنتيجة لاعمال لاحقة، قام ماثيوز[23] العامل الآن بجامعة الينوي بفلكة شيكاغو بطرح فكرته ان البولي هضميتيدات اللامتجانسة تتكون مباشرة من سيانيد الهيدروجين وانها كانت لتتكون على الارض البدائية. بحسب منطوق الفرضية يوجد مسلك منخفض الطاقة ليتبلمر سيانيد الهيدروجين فيه بسرعة الى بولي امينومالونيتريل، والتفاعلات المتلاحقة لسيانيد الهيدروجين مع

مجموعات النيتريل التفاعليـة آنذاك يجب أن تفضي الى البولي اميدينات اللامتجانسة (hetero-polyamidines) التي بامكانها أن تتفاعل مع الماء لانتاج البولي هضميتيدات اللامتجانسة مع كون سياقات الحوامض الامينية فيها مماثلة لما لدى البروتينات •

توجد ادلة طيف كشفية (سبيكتروسكوبيـة: (spectroscopic) على ان اربطة الهضميتيد ومجموعات النيتريل موجودة في المنتوجات المتكونة بالاشعاع المؤاين في محاليل سيانيد مائية[٢٤]• وعند حلمأة هذه المنتوجات في أعقاب ذلك أدى الى تحصيل عديد من الحوامض الامينية• وتأييداً للنموذج المقام لأصل البروتينات قام ماثيوز وجماعته[٢٥] بمفاعلة بولي الفاسيانوغلايسين (poly-a-cyanoglycine) مع سيانيد الهيدروجين أسفرت عن منتوج تحلمأ الى حوامض امينية مختلفة تشمل الغـلايسين والالانين والغـالين وحامضي الاسبرتيك والغلوتاميك•

ألا ان الرأي بأن البولي هضميتيدات اللامتجانسة او المختلفة تكونت بالفعل كطلائـع تعرض للتشكيك والنقض[٢٦]• فقد اسفرت الاختبـارات النوعية لوجود اربطة الهضميتيد كالتحفيز بالبروناز (jronase) ، وهي انزيمة يمكنها حلمأة الدايغلايسين diglycine= أو ثنائي الغلايسين) الى غـلايسين عن نتائج سالبة• لكن مسألة تكون البولي هضميتيدات اللامتجانسة بهذه الطريقة واحتوائها على سياقات كالتي للبروتينات ربما ستبقى رهن النزاع الى أن يتم الحصول على ناتج يتجاوب في تفاعل بيولوجي مثل التجريـد الانزيمي • قام ســي آي سيميونسكـو (C.I. Simionescu) وأف دينس[٢٧] (F. Dénes) في رومانيا بتحري اعداد او تحضير المواد البوليمرية في تجارب افتعالية في أحوال البلازمة الباردة• أضيف خليط من الميثان والامونيا وبخار الماء بواسطة صمام ابري الى حجرة وجرى تعريض الغازات فيهـا الى تفريغ

كهربائي، ترسبت في أثره النواتج على جدران وقاع القارورة الاسطوانيـة التي تبريدهـا الى ستين الى اربعين (٦٠–٤٠°) مئويـة تحـت الصفر • اسفرت تجزئة هذه النواتج بالتقطير التفاصلي عن حصـول كسور او تف (fractions) بوليمرية بوزن جزيئي يقـع في عشرات الآلاف ، وعند حلمأة المواد الخام ظهرت حوامض امينية من بيورينات وبيريميدينات ، وعدد من المشتقات المحايدة النهدرين – موجبة ذوات بنى مجهولة في ناتج الحلمأة•

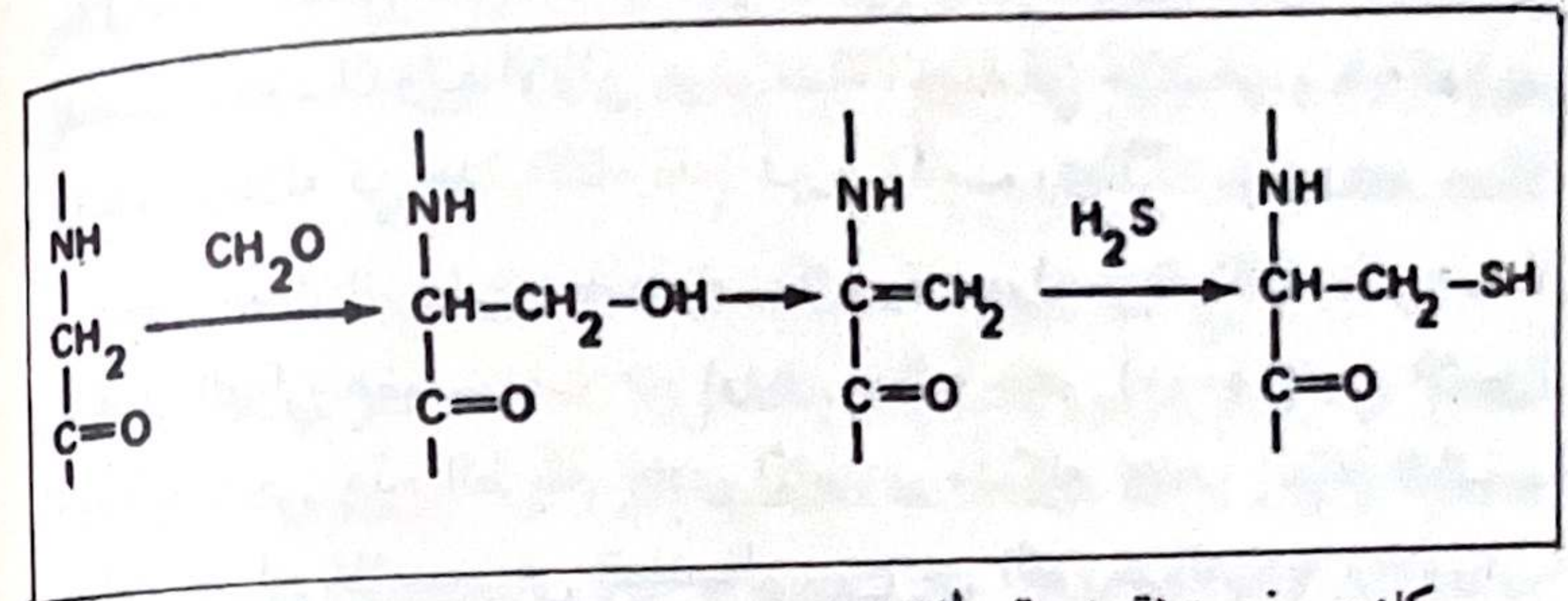
اقترح نموذج آخر لتمثيل الهضميتيدات ما قبل الحياتية بعد اربـع سنوات فقط من تجربة ميلر وكان مبنيا على التفاعل الذي اعلن عنه في اول الامر سي كروسون (C. Krewson) وجيه كاوچ[٢٨] (J. Couch) في عام١٩٤٣• خلال شهر آب من عام ١٩٥٧، قبل اطلاق مركبة الفضاء سبوتنك بشهرين، انعقدت الندوة الدولية الاولى حول نشأة الحياة في موسكو برعاية اوبارين والعلماء زملائه في هذا اللقاء قدم شيرو اكابـوري[٢٩] (Shiro Akabori) من معهد بحوث البروتين بجامعة اوساكا ورقة حول طريقة كان يمكن بها أن تتكون البولي هضميتيدات من اوزان جزيئية بقدر (١٥٠٠٠) في الاحوال البدائية • في هذه الطريقة تفادى اكابوري مشكلة تجفف الطاقة الطليقـة بتمثيل البولي غلايسين في الصلصال Clay من الفورمـالديهايد والامونيـا وسيانيد الهيدروجين بواسطة الامينواسيتونيتريل كوسيط•

$$CH_2O + NH_3 + HCN \longrightarrow H_2N-CH_2-CN$$

Aminoacetonitrile

$$H_2N-CH_2-CN \longrightarrow (-HN-CH_2-\underset{}{\overset{NH}{\overset{\|}{C}}}-)_x \xrightarrow{x\,H_2O} (-HN-CH_2-\underset{O}{\underset{\|}{C}}-)_x + x\,NH_3$$

بعدما تكون البولي غلايسين امكن ادخال سلاسل جانبية بالتفاعل مع الالديهايد او مع الهيدروكاربونات اللامتشعبة . وبهذه الطريقة عندما قام اكابوري بمعالجة البولي غلايسين في الكاؤلينيت (Kaolinite) بالفورلديهايد تمكن من تحويل اثنين الى ثلاثة بالمائة (٢-٣٪) من الغلايسين الى السيرين، وأعطى الاستالديهايد واحدا ونصفا بالمائة (١،٥٪) مجموعات تريونيل (threonyl) . وعلى هذا النحو اعتبر ان الفالين والـلوسين والايسولوسين يمكن تكوينها من البروبلين (propylene) والايسوبيوتين (isobutene) «بت-٢-اين» (but-2-ene) وبامكان التفاعل مع الاكريلونيتريل (acrylonitrile) أن يفضي الى الغلوتامين والارجنين والليسين او اللايسين. وبامكان تفاعلات أخرى أن تفضي الى السستين.



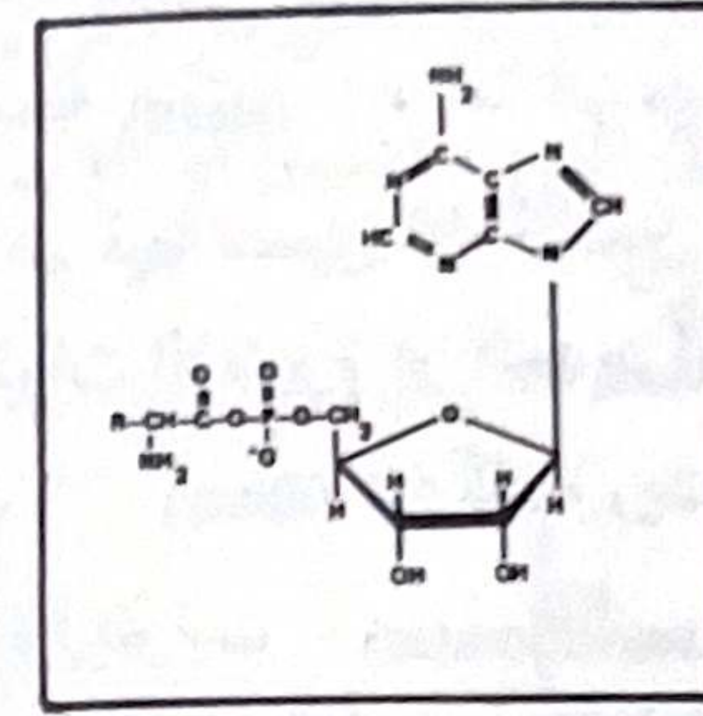
كانت هذه خطة بارعة ، ألا انه يصعب التقدير ما اذا كانت ملائمة لتكون بروتين ما قبل حياتي. كان جيه دي برنال[٣٠] (J.D. Bernal) قد اقترح في عام ١٩٥١ ربما ان الحياة نشأت على سطح الصلصال الذي كان من الممكن ان يراكم مقادير كبيرة من المواد العضوية ، لكن الصعوبة في هذا التفاعل هي رفع الناتج من الصلصال بعد امتصاصه. وكان اكابوري قد استخرج ناتجه بالاستعانة بهيدروكسيد الصوديوم المخفف.

الصلصال هو مادة طبيعية شائعة ذات خواص بنيوية وتحفيزية قد

جعلته مادة مفيدة كعامل امتصاص وايضاح. تؤدي تعرية التربة واصناف الصخور المختلفة الى تكون فلزات صلصالية كجسيمات او هباءات (particles) تتألف في جوهرها سيليكات الالمنيوم المائي الكريستالي (crystalline hydrous almuminium silicates) . تتألف الفلزات من التئامات من وحدتين بنيويتين اساسيتين، تتألف احداهما من تراهيدرا السيليكا (silica tetrahydra) مع اربع ذرات اوكسجين أو هيدروكسيلات متساوية الأبعاد من ذرة سيليكونية مركزية مرتبة كشبكة سداسية تكرارية لتشكيل صفيحة (sheet) . أما الوحدة البنيوية الأخرى فتتكون صفيحتين من الفلزات يتم فيها تنسيق الاوكسجين والهيدروكسيلات على منوال الثمن الاسطح حول ذرات الالمنيوم او الحديد أو المغنسيوم . تصنف انواع الصلصال الى ايليت (illites) ، وكلوريت (chlorites) ، وكاؤلينيت (haolinites) ، ومونتموريلونيت (montmorillonites) وغيرها بحسب سماتها البلورية اللاشكلية وكذلك بخواصها التحدية (swelling) ، ومقدرة فلزات الصلصال على مسك ومبادلة بعض الكاتيونات والآيونات هي احدى خواصها الكيميائية المثمنة للغاية.

وبما انه تتوفر كثرة من الشواهد للدلالة على امكانية تكون الحوامض الامينية بسرعة وسهولة في الاحوال ما قبل البيولوجية ، فان التكثف اللاحياتي للحوامض الامينية بذاتها لا يزال له روق منطقي . انما تبقى هناك الحاجة الى طاقة عالية لبلمرتها في الاحوال الطبيعية . ولانجاز هذا تتنشط الحوامض الامينية عادة بأنهايدريد مختلط بين الحامض الاميني وحامض آخر، وفي التمثيل الحيوي هذا الحامض الآخر هو مجموعة حامض الفوسفوريك في ثلاثي فوسفات الادنوسين ATP والانهايدريد الناتج هو ادنيلات الحامض الاميني.

ما أن يتكون الادنيلات حتى يتم رفع الحامض الاميني الى مستوى من الطاقة مرتفع بما يكفي لحصول البلمرة تلقائيا • انما لكي يتفاعل ادنيلات الحامض الاميني مع حامض اميني آخر يلزم أن تكون المجموعة الامينية لذلك المونومر خالية من الشحنة الكهربائية• تتواجد الحوامض الامينية في السوائل المحايدة بمثابة زويتريونات (switterions) تتم فيها مؤاينة المجموعات الامينية والكربوكسيلية •



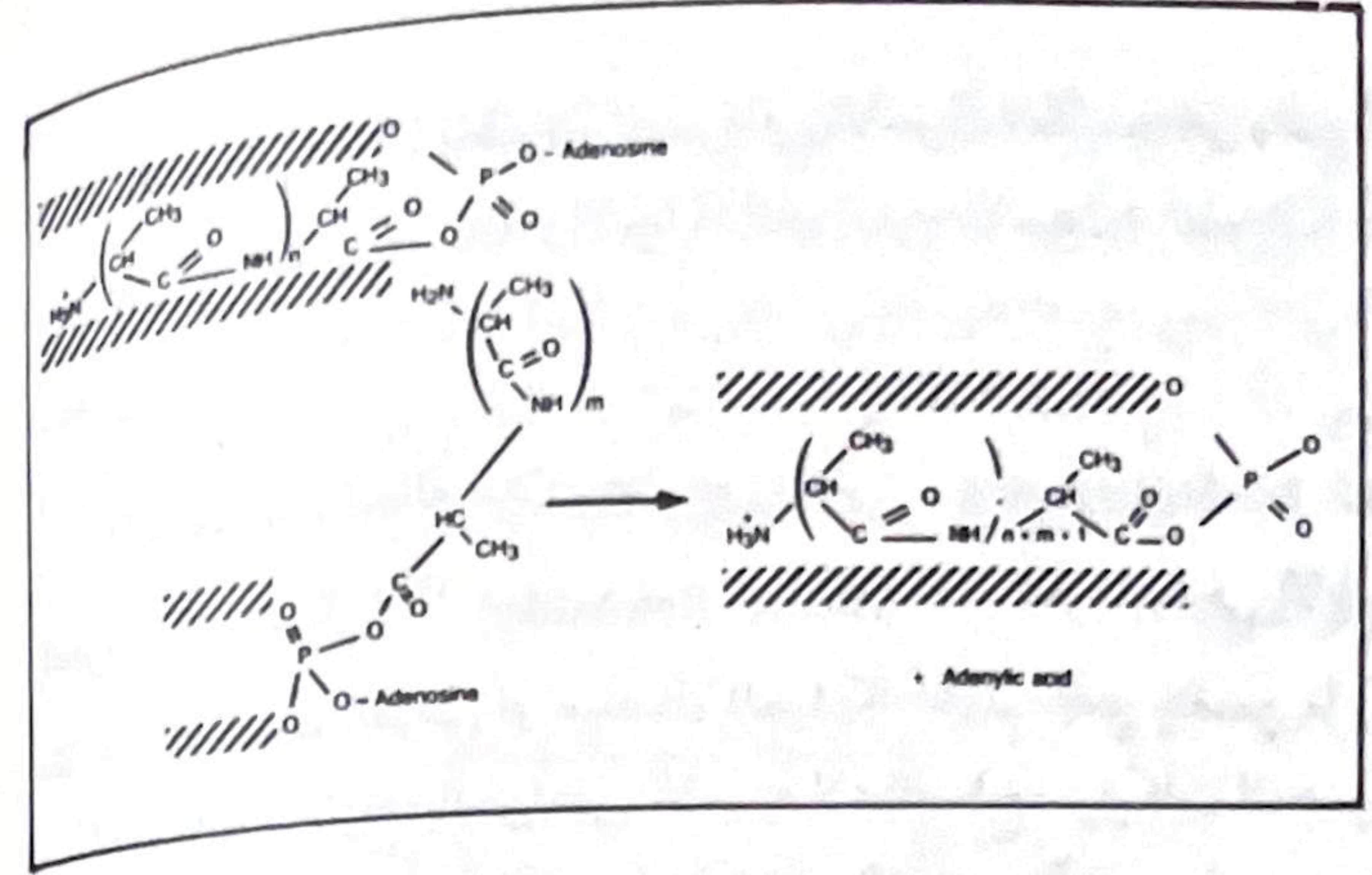
الشكل ١١/٩ ــ بنية ادنيلات الحوامض الامينية

لن تتكون اية ادنيلات اذا ما ترك الحامض الاميني والاتب للسكون معا في (يدس ٧)، انما ستتكون في سائل حامضي الذي تتواجد فيه مجموعة الكربوكسيل اللامؤاينة ، غير ان الادنيلات الامينية تتحلأ بسرعة في هذا الجانب من الحيادية • ايضا لا تتمكن المجموعة الامينية من التفاعل الا اذا

كان يدس حوالي ٨• ان المطلوب للبلمرة في الاحوال الطبيعية هو وضع تكون فيه المجموعات الكربوكسلية والامينية للحوامض الامينية تفاعلية بنفس مستوى يدس.

اكتشف هذه الحالة ميلا بيخت هورونيتز (Mella Paecht-Horrowitz) واهارون كاچالسكي[٣١] (Aharon Katchalsky) اثناء تجرياتهما في الاطيان بحثا عن الصلصال الظرمي او صلصال السيليكا الملائم الذي يتضمن ما يكفي من المجموعات لتمتزج بالحوامض الامينية لاعطاء ملح سيليكات للمجموعة الامينية وتسريح المجموعة الكربوكسلية من الزويتريونة في يدس محايد• وفوران تحرر المجموعة الكربوكسلية بامكانها ان تتفاعل مع الاتب لتكوين انهايدريد تفاعلي مختلط • اكتشفا ان الزيوليت تقوم بهذه الوظيفة وعند استخدامها في خليط من حامض اميني وأتب افضى ذلك الى توليد الادنيلات، لكن التبلمر لم يحصل • وعندما تذكرا نجاحهما السابق مع الموتتموريلونيت، أقاما تجربتهما من جديد على هذا الصلصال وفيه بدأ تبلمر الحامض الاميني•

في أحوال التجربة ،: تبلمرت الحوامض الامينية بأختلاطها بالأتب والموتتموريلونيت في مستوى يدس ما بين (٥ر٧) الى (٥ر٨)، ونظرا لتحرر حامض الادنيليك في هذا التفاعل استلزم ذلك الحفاظ على مستوى يدس بإضافة القلي بأستمرار ، وخلاف ذلك كا ن التبلمر سيتوقف مع صيرورة آل يدس حامضياء كان مدى البلمرة المحقق باهرا ، وخلال بضع ساعات امكن تحقيق سلاسل م ن خمسين (٥٠) مونومرا وأكثر•



الشكل ٢/١٩ ـ بلمرة ادنيلات الحوامض الامينية في صلصال المونتموريلونيت

انما حصلت معوقات • بعض الحوامض الامينية تبلمرت سوية بشدة كالالانين والسيرين او الالانين والبرولين ، بينما جنح خليط من الالانين وحامض الاسبرتيك الى اعطاء فقط بوليمرات متجانسة من كل منهما. كما ان الحوامض الامينية القاعدية لا تتبلمر لشدة تلاصبها في الصلصال •

لكن ناحية ملفتة للنظر في التفاعل هي انه بامكانه نظريا تكوين حامض البولي ادنيليك من نفس المادة البادئة كمنتوج جانبي للتفاعل[٣٢].

لم يتم التدليل على هذا تجريبيا، انما اذا كان يمكن تكوين الحوامض البولي أمينية والحوامض البولي نوويك في آن واحد وفق ما طرحه آيجن[٣٣] (Eigen) فقد كان سيتم التغلب على عقبة رئيسة في الحل لمسألة أصل الحياة.

ليتسنى تكثف الحوامض الامينية في الصلصال يلزم أن تكون تركيزاتها فوق مستوى (١٠ــ٣) مولة بالتر الواحد. لقد اجريت اغلب التجارب المختبرية بتركيزات عالية نسبيا بغية تحقيق النتائج الأمثل انما ربما لم يكن

تركيز الحوامض الامينية في البحار عاليا جدا مطلقا • وبالاخذ بالحساب عمليات الاتاج والتلف ، قام كلاوس دوزه[٣٤] (Klaus Dose) باحتساب تركيز الحوامض الامينية في البحر البدائي بكونه زهاء ($١٠^{-٤}$) مولار، ووجد اين لاهاف (N. Lahav) واس چانك[٣٥] (Chang) ان التصاب او امتزاز الحوامض الامينية عند مستوى (س بـ ٨) اضعف بكثير مما كان ليساعد هذه المونومرات على التراكم على أسطح الصلصال، وهذا يطابق ما كان برنال[٣٦] قد ابداه. لهذا السبب يظن الخبيران المتقدمان أن أي تفاعل في الصلصال كان ستسبقه خطوة تركيز كمن قبيل التبخر في بحيرة او غدير•

لقد وجد ان اطيان الصلصال كانت نادرة في رواسب دهور ما قبل الكمبري[٣٧]، لكن رغم انها ربما لم تكن غزيرة كتراكم الاطيان الصلصالية من الصخور الرسوبية ، فانه مع ذلك يمكن ان ينجم الصلصال من استحالة الزجاج البركاني الى صخور طفالية او صلصالية • ان الفعل الحرارمائي (hydrothermal) للنافورات البركانية أو التعرية على الارمدة والطفة البركانية يؤدي في الاغلب الى اتاج صلصال المونتموريلونيت[٣٨]. وعليه فلربما كان توجد أطيان صلصالية في الدهر الاركي لتنفيق بلمرة الحوامض الامينية، كما طرحته بيخت هوروفتز وزملاؤها.

للتفاعل الصلصالي التحفيز جدارة انما له ايضا منغص بنفس الوقت. ان السمة الابرز لتفاعل التكثف على الصلصال هي انه تكثف في الفاصل البيني (interfacial) ، وهي آلية شديدة الشبه او التماثل بالمنظومات البيولوجية التي تكون فيها البنية البدنية بالغة الاهمية ، كالتفاعلات السطحية التنشيط في سطحي البني (interfaces) الماء ــ الدهنيات ، فضلا عن ذلك لقد اوضح ارمين فايس[٣٩] (Armin Weiss) من جامعة ميونيخ ان بامكان منظومات الصلصال

اللاعضوي أن تعمل كحاملات معلومات بعملية التكاثر الذاتي التلقائي.

لكن الاعتراض الاكثر خطورة على التفاعل ليس موجها الى آليته، وانما الى امكانية انطباقه . ان التجارب التي أقامتها بيخت هوروفيتز، واكابوري، وفوكس، وغيرهم، قد حاولت أن توضح بالمثال الاحوال الجيولوجية التي كان يمكن ان تنتج عنها بولي هضميتيدات كبيرة على ما يظهر مع الافتراض أن مثل هذه العملية يمكن بالنهاية انتنجم عن تمثيل ما قبل البيولوجي للانزيمات او مواد شبه انزيمية . ومتى ما توفرت البولي هضميتيدات لتحفيز التفاعلات الضرورية البيوكيميائية سيكون بامكان خلية حية وظيفيـة ان تلتئم . لكن امكانية نشوء أي شيء يشبه الانزيمة ابدا من هذه التفاعلات امر مشكوك فيه للغاية. ثم من جانب آخر، ان هذه كلها مسـائل درب مسدودة ، ولم يكن سياق اية بولي هضميتيدة ذات فائدة سيتم الاحتفاظ به وتناقله الى الاجيـال المتعاقبة، لعدم كونه متأتيا من منظومة تناسخية.

الفصل العشرون ـ غموضية الانزيمة

بدت الانزيمة دائما محفوفة بظل من الغموضية والابهام. كما انالطبيعة المتناهية في النوعية لنشاطها ووتائرها المذهلة في تحفيز التفاعلات قد أطَّرتها بما يوحي ان لابد ان الانزيمات خلائق فريدة تقف على جانب من سواد المواد الكيميائية الاخرى . انما سواء كانت الانزيمات من السواد أم خلافه ، فهي ليست اكثر من مجرد جزيئات كبيرة قد شحذها التطور وشذبها الارتقاء الى دقة باهرة وقدرة عجيبة على مر اربعة آلاف مليون سنة من التهذيب.

اننا ندرس اشكال الحياة المعاصرة وندهش محتارين من تناهي تعقيدها البيوكيميائي. فحتى ابسط بكتيرة على الاطلاق تضم ما بين الفين الى ثلاثة آلاف (٢٠٠٠-٣٠٠٠) انزيمة مختلفة لانجاز عملياتها التآيضية . تعمل ماكنتها الخلوية التي تسيرها الانزيمات بمنتهى السلاسة والاقتدار وبما يوحي الى الناظر أن الانزيمات بحالتها الحاضرة كانت جوهرية لتكـوين اية منظومـة بيولوجية اولية . لكننا تتأمل جهازا أحدث من ذلك بأشواط شاسعة . والحياة لم تبدأ مع الانزيمات، انما بالاحرى تطورت معها عبر دهور من التبدل الطفرة والتكيف. ولكي نفهم كيف تمكنت الخليـة الاولى من البدء على الطريق المؤدي الى منظومة حية تعمل كليا بأمرة وتحكم الانزيمات، يقتضي بنا ان تتعرف على ما الذي يجعل الانزيمة تشتغل، ولكي نفهم الانزيمات يقمن بنا أن ندرك ونقدر خصائص البروتينات واهميتها الفريدة ، وذلك لأن الانزيمات هي بروتينات.

ما ان أصبحت البروتينات جزءا من المنظومات البيولوجية حتى أضفت عليها تنوعية مكنتها من خلق الصفات الفردية المميزة لكل كائن حي. توجـد عشرات الآلاف وربما ما ينوف على مائة الف (١٠٠٠٠٠) بروتينة مختلفة في

كل جسم بشري ، وتمثل اكثر من نصف الوزن الجاف للبدن، وتتراوح بالحجم الجزيئي من ستة آلاف (٦٠٠٠) الى ما يناهز عشرة ملايين (١٠ ٠٠٠ ٠٠٠) غير اغلبها يقع في ما بين اثني عشر الفا وستة وثلاثين الفا (١٢٠٠٠ــ٣٦٠٠٠)، أي من مائة الى ثلاثمائة (١٠٠ــ٣٠٠) حامض اميني، وهو حجم سلاسل البولي هضميتيدات التي تقوم الريبوسومات بتمثيلها، أي صنعها، عادة.

تعمل البروتينات بصفات عديدة . فالبروتينـــات كالميوسين (myosin) والكولاجين (Collagen) تؤلف المكونات البنيوية للعضل والانسجة الضامة او الرابطة بمثابة كيراتين (keratin) تكون الشعر والاظفار ، وكأنزيمات تقوم بضبط وتسيير جوهريا كل تفاعل بيوكيميائي، وكهورمونات (hormones) تعمل بصفة العوامل التنظيمية للعمليات الخلوية . والبروتينات اجسام مضادة (antibodies) تعمل فى التجاوب الحصين ضـد البروتينـات الاجنبيـة، وكهستونات (histones) وبروتامينات (protamines) تقوم بكبت الجينات غير المطلوبة. فما هو السر في تكليف البروتينات بكل هذا العدد الكبير من الوظائف في عمليات الخلايا؟

والجواب هو ان بوسع البروتينات أن تنجز ما لا تستطيع انجازه الا مواد غير قلائل غيرها ، ألا وهو تمييز الجزيئات الاخرى، ومقدرة البروتينات على تشخيص الجزيئات تعطي الانزيمات نوعويتها الدقيقة المتناهية . لقد اعتمد تطور المنظومات الحية الى عدد كبير من التفاعلات البيوكيميائية على قدرة الخلية على تنسيق عملياتها العديدة والتحكم في كيفية توجيهها. وتسنى هذا بفضل تنمية الخلية انزيمة معينة لمتابعة كل تفاعل. ولهـذا السبـب ليست الانزيمات محفزات نوعية يحار العقل ازاءها فحسب، بل ان عددهـا ضخم للغاية ايضا.

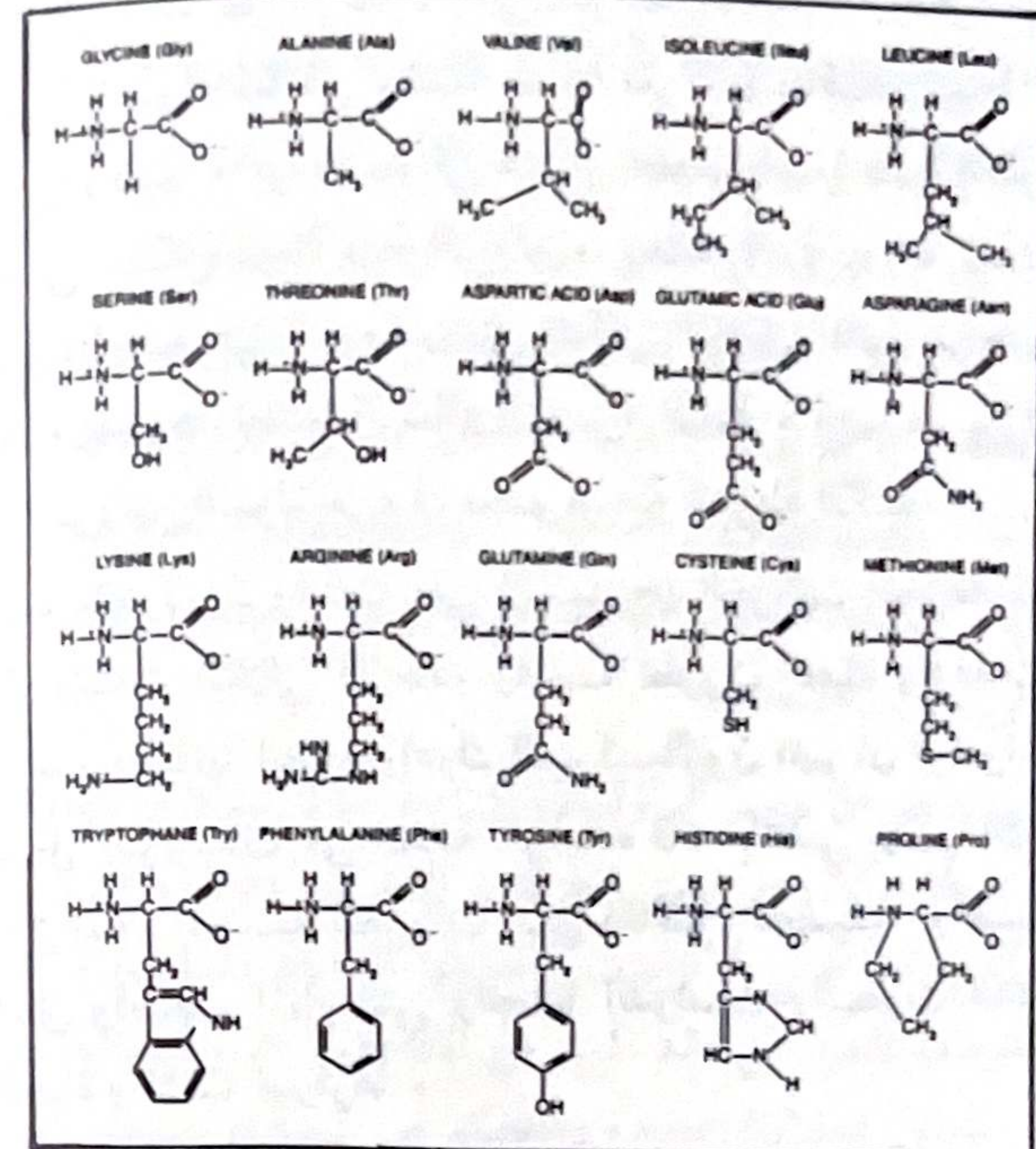
فما هو مدى تعقيد البنية الكيميائية للانزيمة الواحدة ، وكيف امكن لكل هذا العدد العديد من الجزيئات المعقدة ذوات هذه الدقة الباهرة أن تنشأ خلال فترة الحياة على الارض؟

اننا نعلم أن جميع البروتينات عند تسخينها في حامض الهيدروكلوريك عياري ٦ (6 Normal hydrochloric acid) بدرجة حرارة (١١٥°) مئوية لعدة ساعات. تتم حلمأتها الى وحداتها الفرعية ، وهي الحوامض الامينية. والحوامض الامينية في البروتين موصولة معا في سلسلة طويلة مع كون تعاقب ترتيبها بالاساس المسؤول عن فرديتها . يوجد حوالي عشرين حامضا امينيا عاديا (أنظر الشكل ١/٢٠) وهي تشكل الفباء بنية البروتين. وهذه البنية بمثابة لغة مكتوبة، والحوامض الامينية هي الحروف التي تشكل الكلمات التي يتم صوغهـا في جمل، وهذه بدورها تصبح الرسالة التعبيرية التامة . ويتم تفسير الرسالة ، وهو دور البروتين البيولوجي، في مجموع بنية الجزيئة الكلية.

تعتمد مقدرة البروتينات على التميز بين الجزيئات المختلفة على شكل او كم البروتينات الثلاثي الابعاد، وفيمـا تطورت الحياة وازدادت تعقيدا، ازداد تعقيد بروتيناتها ايضا. وأدرك البيوكيميائيون انهم ان أرادوا أن يفهموا كيف تشتغل البروتينات في الخلية الواحدة فانه يقتضي بهـم التعرف على شكلية الترتيبة المجسمة للجزيئات بكل دقائقها التفصيلية. وأصبحت هذه احدى أشق وأصعب المهام التي واجهتها الدراسات والبحوث لفك رمـوز كيمياء الحياة وكشف اسرارها .

تتألف البولي هضميتيدة الواحدة من سمط من الحوامض الامينية متصلة في سياق (أنظر الشكل ٢/٢٠). لكن عندما تكون الجزيئة كبيرة كما هي بالنسبة الى البروتينات ، لا تكون طولية بل مشوهـة بعدد من العوامل في تضريسة مجسمة . تتيح تنويعة المجموعات الوظيفية في السلاسل الجانبيـة

للحوامض الامينية قيام التفاعـلات التي تؤدي الى استقرار أو تهدئة بعض التطابقات الشكلية وتخل باستقرار غيرها ، وبوسع مجموعات الكبريهندريل (sulfhydryl) لسيستينتين اثنتين (cystines) ان تتأكسد لتشكيل رابط ثنـائي الكبرتيد (disulfide) القوي. كما بوسع مجموعات توريد الهيدروجين من مثل ($>NH$) تشكيل اربطة هيدروجينية مع مجموعات الكربونيل ($>C=O$)

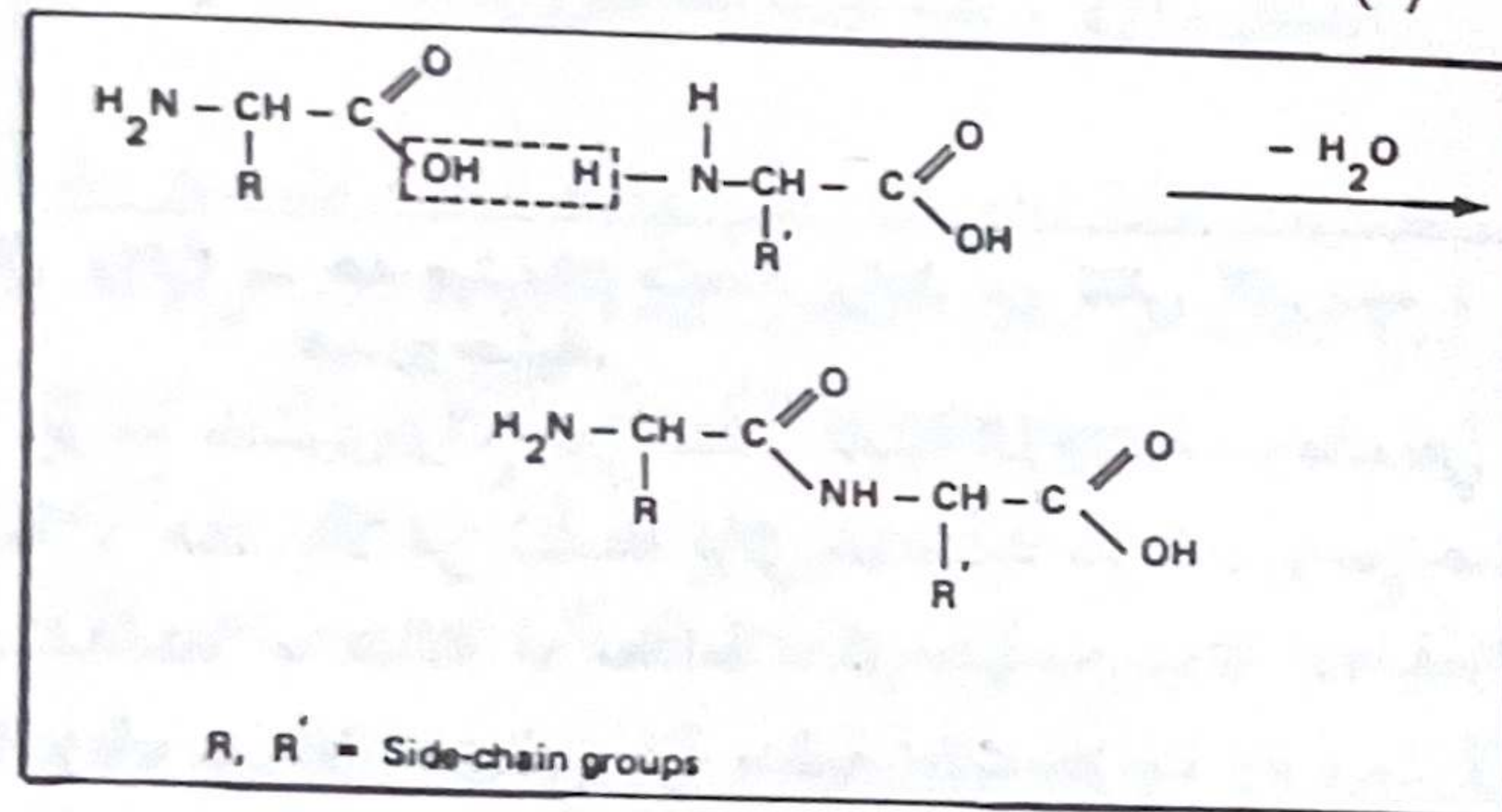


الشكل ٢٠/١ ـ الحوامض الامينية الشائعة العشرون الموجودة في البروتين.

(أنظر الشكل ٢٠/٣). كما بوسع الصد الحيزي او المجسم (steric repulsion) السلاسل الجانبية الضخمة الحيلولة دون اصطفاف بعض التطابقات الشكلية (conformations) ، فضلا عـن أنـه بوسـع المـاء بكونـه بنيـة ذوايـة (solvating structure) حول المجموعات المشحونة والقطبية بذل تأثير كبير.

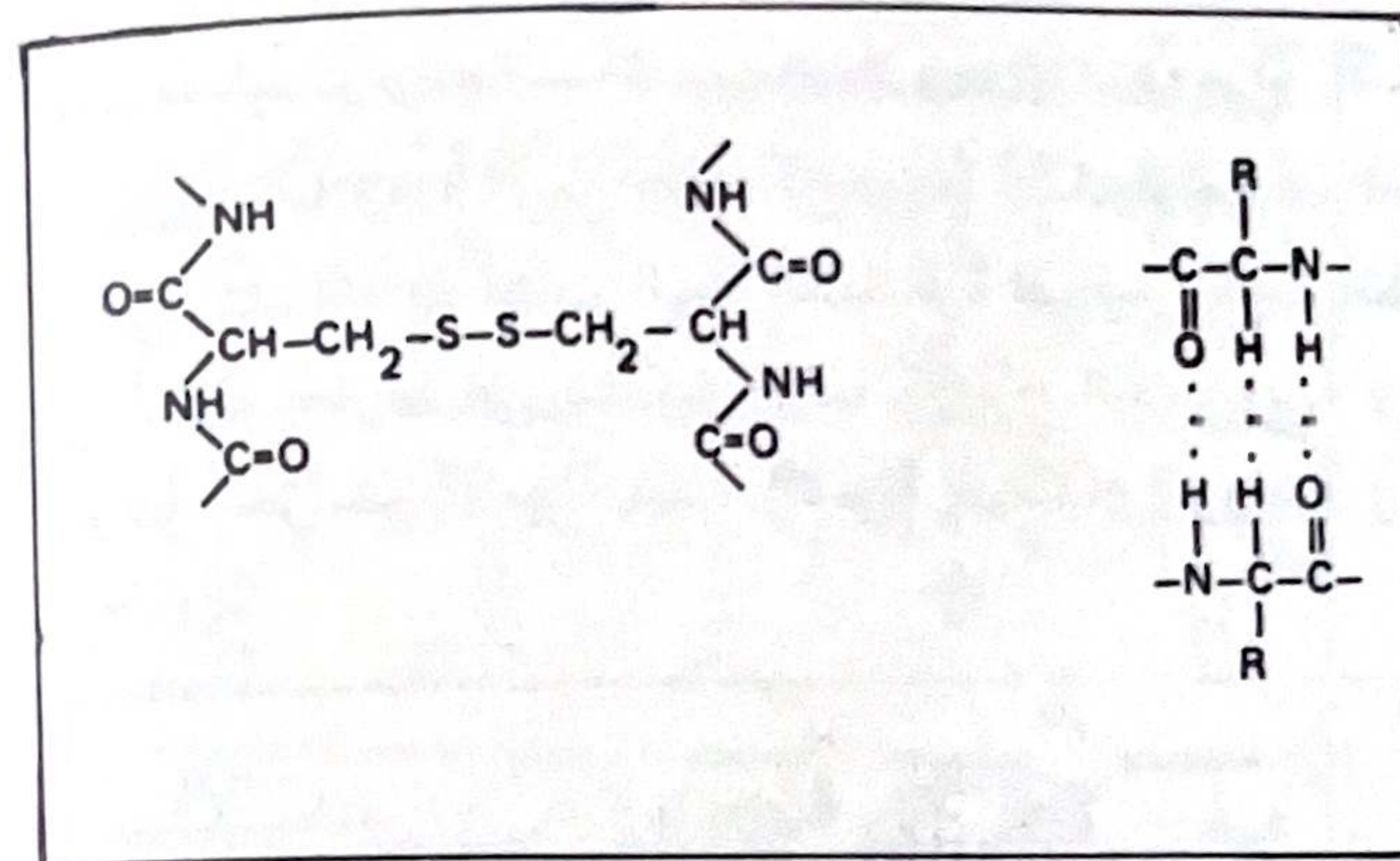
قام الكيميائيون بتصنيف بنى البروتينات الى اربع مراحـل ليتمنى تعريف اشكالها وأحجامها الثلاثية الابعاد. أن البنية الاوليـة الاساسيـة للبروتينات هي سياق الحوامض الامينية في سلسلة البولي هضميتيد . أما المراحل الثلاث الاخرى فهي ترتيبات حيزية او مجسمة مختلفة تتخذهاسلسلة البولي هضميتيده اما بمفردها او مع بولي هضميتيدات أخرى.

اكتشـف لينـوس بولينـك (Linus Pauling) وروبـرت كـوري (Robert Corey) وزملاؤهما[1] من معهد كاليفورنيا للتكنولوجيا ان الطريقة الوحيدة التي تتشابك بها لبنات البناء اللامتناظرة للبوليمر بحيث تملك كل منها نفس العلاقة بجارتها هي بتشكيل لولب كالدرج الحلـزوني. وعليـه يصبح تلولب الحوامض الامينية البنية الثانوية للتشكيلة البروتينية (راجع الشكل ٢٠/٤).



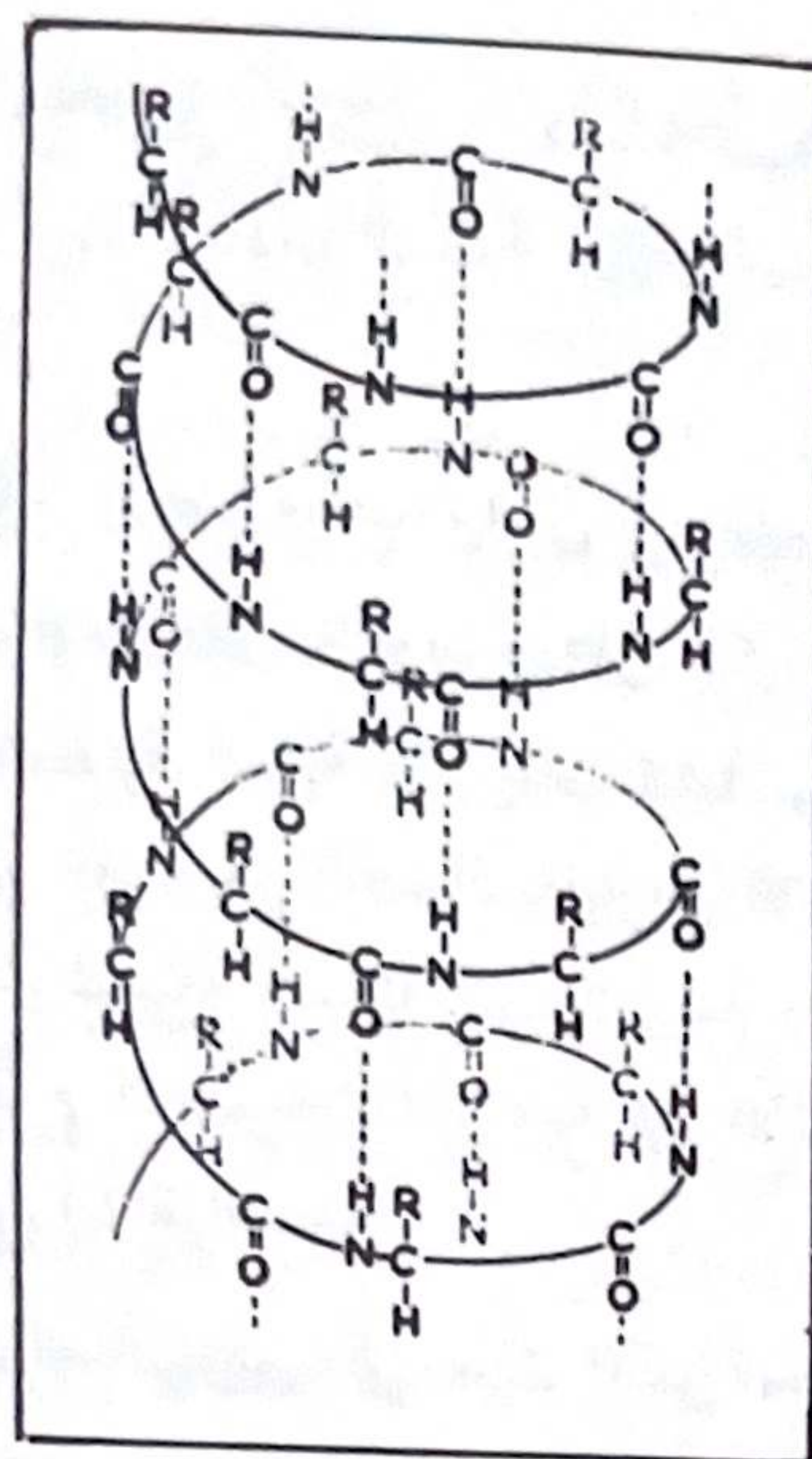
الشكل ٢٠/٢ ـ هضميتيدة ثنائية. A dipeptide

أما المرحلة الثالثة للترتيبة الثلاثية الابعاد فهي الكيفية التي تنعطف بها سلسلة البولي هضميتيد وتتحوى وتلتف حول نفسها في شكل معين تصطف معه مجموعات السلسلة الجانبية لحوامض امينية مخصوصة في التوجه المضبوط تماما. عندما تنطوي سلسلة البولي هضميتيد، تجنح الى دفع المجموعات القطبية الى الخارج حيث ترتفق هذه بجزيئات الماء، وسحب المجموعات اللاقطبية الى الداخل فتقوم هذه بتشكيل التفاعلات المنافرة للماء، وبالنتيجة تفضي هذه العملية الى شكل كروي للبروتين له باطن شبه دهني وسطح قطبي وايوني • (أنظر الشكل ٥/٢٠).



الشكل ٣/٢٠ – هضميتيدات متحدة برابط من ثنائي الكبريتيد، واربطة هيدروجينية.

يوجد مستوى رابع من التنظيم للبنية البروتينية، وهذه هي المرحلة الرابعة • هنا، بدلا من سلسلة بولي هضميتيد مفردة، بوسع عدة بولي هضميتيدات، أما مماثلة أو مختلفة، كل منها مع بنياتها الاولية والثانوية والثالثوية، من الارتفاق في بنية منظمة تملك خواصا ونوعيات لا تبديها أي من الوحدات المونومرية.



الشكل ٤/٢٠ – بنية لولب الفا للبروتينية •

كانت الخاصية الرهيبة للانزيمات التي واجه العلماء مشقة عظمى في تفهمها هي كيفية تمكنها من تنفيق التفاعلات بهذه السرعة ولتفاعل واحد نوعي فقط. قام اميل فيشر (Emil Fischer)، الكيميائي الالماني الذي اوضح طبيعة رابط الهضميتيد في عام ١٩٠٢، بتحري هذه المسألة • وعندما اكتشف ان الخميرة تنمو على الايسومردي (D-isomer) للسكر انما ليس على الايسومر ايل (L-Isomer) ارتأى أن لابدمن وجود طريقة يتمكن بها ايسومر واحد فقط من جزيئة السكر من الدخول أو التراكب تماما في الانزيمة اشبه

كثيرا بتراكب المفتاح في القفل. فأصبحت هذه فرضية القفل والمفتاح لشرح التفاعل النوعي بين الانزيمة ومادتها السفلية (substrate) ، أي الجزيئات التي تعمل عليها الانزيمات .

في عام ١٩١٣ قام ليونور ميخـائيليس (Leonor Michaelis) ومود منتون (Maude Menton) بالتوسيع على فكرة القفل والمفتاح لفيشر، وطرحا ان النوعية التخصصية العالية للانزيمات تنشأ من قيام الانزيمة بتوفير موقع في سطحها تتمكن جزيئة من المادة السفلية من الارتباط به بكيفية دقيقة وصحيحة فتشكل بذلك شبيكة وسيطة بين الانزيمة والمادة السفلية . ومتى ما تتكون الشبيكة تقوم المجموعات التفاعلية في الانزيمة بتنفيق التفاعل الكيميائي المطلوب على المادة السفلية.

عندما تقدمت كيمياء البروتين الى حيث امكن معه تشخيص الحوامض الامينية الكائنة في الموقع الفعال بسياقها الاولي، اكتشف البـاحثون ان الحوامض الامينية المشاركة كانت في العموم بعيدة عن بعضها البعض تماما في موضعها في سلسلة البولي هضميتيد الطويلـة . وبدا الآن واضحا لماذا تطورت الانزيمات الى هذه الأحجام الكبيرة للغاية . لقد كانت ذلك بحكم الضرورة . يتم تمثيل سلاسل البولي هضميتيد كسياق طولي من فضلات الحوامض الامينية ، لكن لما كانت وظيفة الانزيمات تتوقف على شكلها الثلاثي الابعاد لكي تتمكن من تمييز المادة او السطح السفلي وتجعل المجموعـات موجهة بدقة للموقع الفعال ، فانه بوسع سلسلة الحوامض الامينية تحقيق هذا فقط بامتلاكها بوليمرا طويلا بما يكفي ليتسنى تعويجه في شكل مكعب او كريي (globular) .

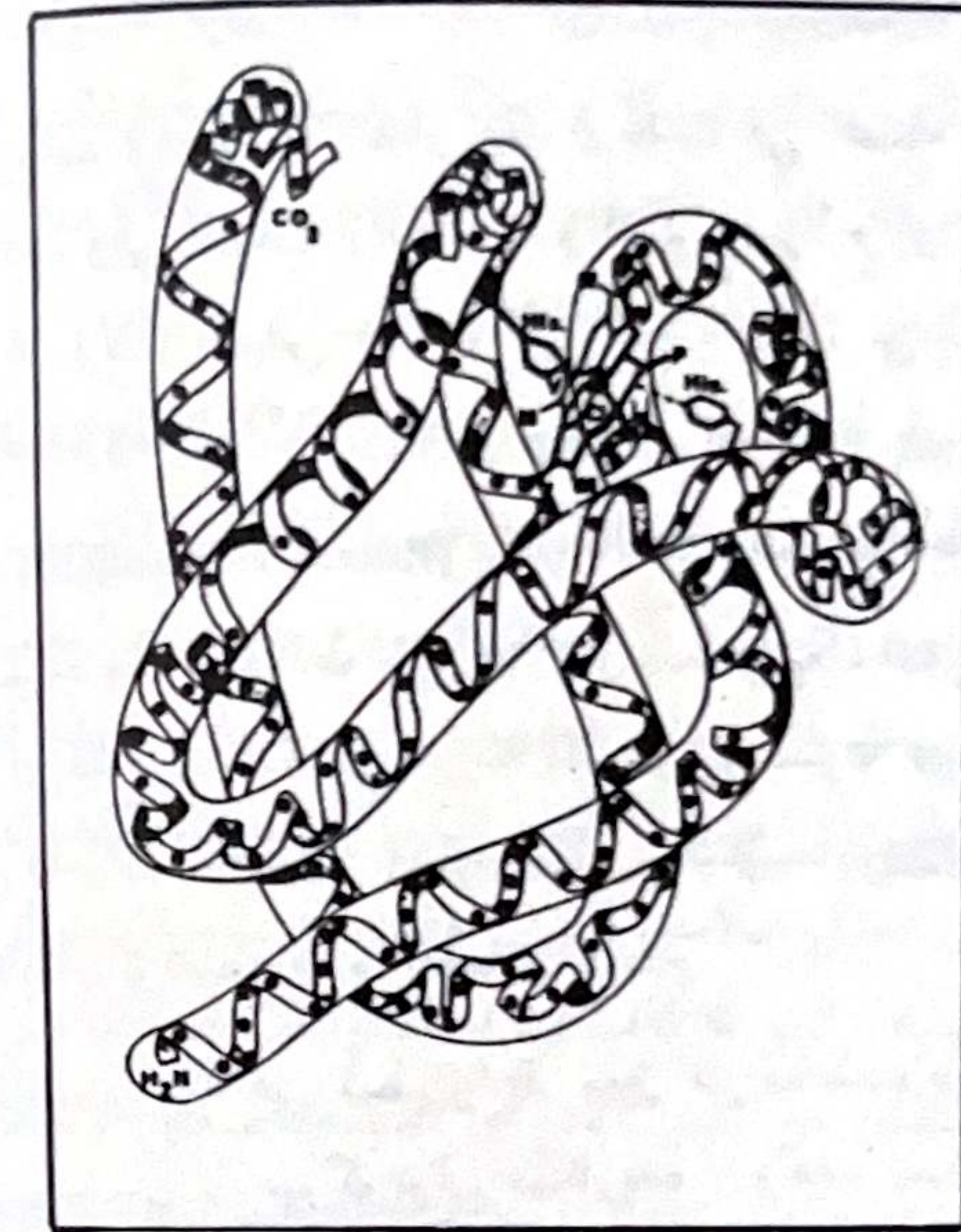
لم يمكن التثبت من البنية الثلاثية الابعاد التامة لأية أنزيمة حتى عـام

١٩٦٦. وهذه انزيمـة كان الكزاندر فلمينك (Alexander Fleming) أول من لاحظها في عام ١٩٢٢، وفليمنك هذا هو مكتشف البنسلين. اثناء عمله في لندن اصيب فلمينك بزكام اضطره الى ملازمـة الفراش، وبدافع طبيعتـه الفضولية الاستطلاعية ، استغل هذه المناسبة لوضع قطرة من مخاط أنفه في زرعة من البكتيريا. وبعد مرور بضعـة ايام وجد، لشدة دهشته ، ان البكتيريا الاقرب الى قطرة المخاط كانت قد أكلت وأختفت. وادرك فليمنك آنذاك ان استهلاك البكتيريا يعزى الى أنزيمة ، ولما كان بوسع هذه الانزيمة اذابة الخلايا البكتيرية ، أطلق عليها اسم الليسوزيمة lysozyme= ذوبزيمة).

ان الليسـوزيمات واسعة الانتشار وقد وجدت في اعضاء عـديدة وفي خلايا وبلازما الدم، وفي اللعاب والحليب، والدموع، وآح أو ابيض البيض. وليسوزيمة آح او زلال البيض هذه ، التي قام بالتثبت من بنيتها الاوليـة منفصلا بيير جوليه وزملاؤه[٢] (Piorrp Jollès) بجامعة باريس ، وروبرت في كانفيلد[٣] (Robert E. Canfield) بكلية الطب والجراحة بجامعةكولامبيا، هي بولي هضميتيدة مفردة تتألف من (١٢٩) وحدة فرعية حامض امينية. وبما انه يمكن فض او فتح واعادة طي جزيئة الليسوزيم بسرعة وسهولـة ، فانه تمنى التثبت من قدرتها التحفيزية (catalysis) ونوعيتهـا (specifiicity) وايضا بنيتها الثلاثية الابعاد بواسطة هذه الفضلات فقط.

ان وظيفة الليسوزيمة هي شطر رابط معين من مخطـوبولي سكاريدة (mucopolysaccaride)) و ميوكوبولي سكاريدة ، وهذه سكرة مشتبكـة طويلة السلسلة تشكل أحـد مكونـات جدران الخلايا البكتيرية ، ويتـم الانشطار بتحفيز تحلمؤ رابط كاربوني اوكسجيني (C-O) . أما كيف تتمكن الليسوزيمة من فلق هذا الرابط النوعي فأصبحت مادة البحث المستهدفة في تحريات قام بها ديفيد فيلبس (David Phillips) وآخرون[٤] في المعهد الملكي

بلندن في عام ١٩٦٠. كان الهدف هنا رسم البنية الثلاثية الابعاد لليسوزيمة بتفاصيلها الذرية بأستخدام أسلوب الكريستالوغرافيا للاشعة السينية. بهذا الاسلوب يتم تسجيل انماط حيود الاشعة السينية ، ويتم تحصيل صورة الذرات في الجزيئة بواسطة الاحتساب[٥]. (ملاحظة: يمكن تسديد المجاهر للامواج الضوئية او حزمة الالكترون ، لكن لم يتم بعد ابتكار اية وسيلة لتسديد الاشعة السينية في فصمة او صورة (image)).



الشكل ٥/٢٠ – رسم ايضاحي للبنية الاولية والثانوية والثلاثية لبروتينة (ميوغلوبين). والنقاط تمثل الالفا كربون للحوامض الامينية.

تتضمن جزيئة الليسوزيمة زهاء (١٩٥٠) ذرة. استلزمت مهمة التثبت من البنية الثلاثية الابعاد للانزيمة التحقق من جميع أو تقريبا جميع مواضع هذه الذرات. في عام ١٩٦٢ تمكن فيلبس من الحصول على صورة منخفضة الوضوح للبنية من (٤٠٠) حيودات قصوى وشاهد الشكل العام للجزيئة. كان قد أدرك أن بلوغ هدفه لن يكـون سهلا، لكن ترتيبة سلسلة البولي هضميتيد كانت أكثر تعقيدا حتى من توقعات فيلبس.

بعد ثلاث سنوات ، بعد تطوير اساليب امضى واكثر كفاءة لمقايسة واحتساب البيانات ، وبعد استخدام زهاء عشرة آلاف (١٠٠٠٠) نمط حيود، تم الحصول على صورة . وفي هذه المرة كان الوضوح عاليا بما يكفي لرؤية وتمييز العديد من المجموعات الذرية ، ووجد فيلبس وزملائه ان الجزيئة العملاقة تألفت من ثلاثة اقسام من لولب الفا، وطـولين من سلسلة البولي هضميتيد متوازيين في اتجاه معاكس مع عطفة أو ثنيـة دبوس الشعـر في السلسلة ، وطيات أخرى غير منتظمة للغاية يتعذر وصفها بايجاز. كانت نتيجة هذا التجمع والتحوي لسلسلة البولي هضميتيد بنية تشكل جناحين يقعان على زاوية من بعضهما، واستحالت الثغرة بين الجناحين الى شق عميق يمتد على احد جانبي الجزيئة . شكل هذا الشق الموقع الفعال للانزيمة والفجوة التي تتراكب فيها المادة أو الطبقة السفلية.

وبدراسة التفاعل بين الليسوزيمة وثمانية سكاكر امينية مختلفة تمكن فيلبس من ايضاح ان الموقع الفعـال (active site) كان مربـوطا بأربطـة هيدروجينية تتألف من ست فضلات من سكر اميني عارية تقع على الطبقـة السفلية . والحوامض الامينية العديدة التي تبطن الشق والمسؤولة عن ربط الطبقة السفلية بالانزيمة مبعثرة في منطقة واسعة على امتداد السلسلة . ان الترتيبة المفضلة التي يمكن فيها مراكبة نموذج من الطبقة السفلية للانزيمة

في الشق تضع الرابط الذي يتحلمأ مباشرة بين مجموعة الكربونيل من أحد حوامض الاسبرتيك في الموضع (٥٢) ومجموعة الكربوكسيل من أحد حوامض الغلوتاميك في الموضع (٣٥)٠ وقد بينت المشاهدات البنيوية ان هذين الحامضين الامينيين هما المشاركان في آلية فعل الليسوزيمة٠

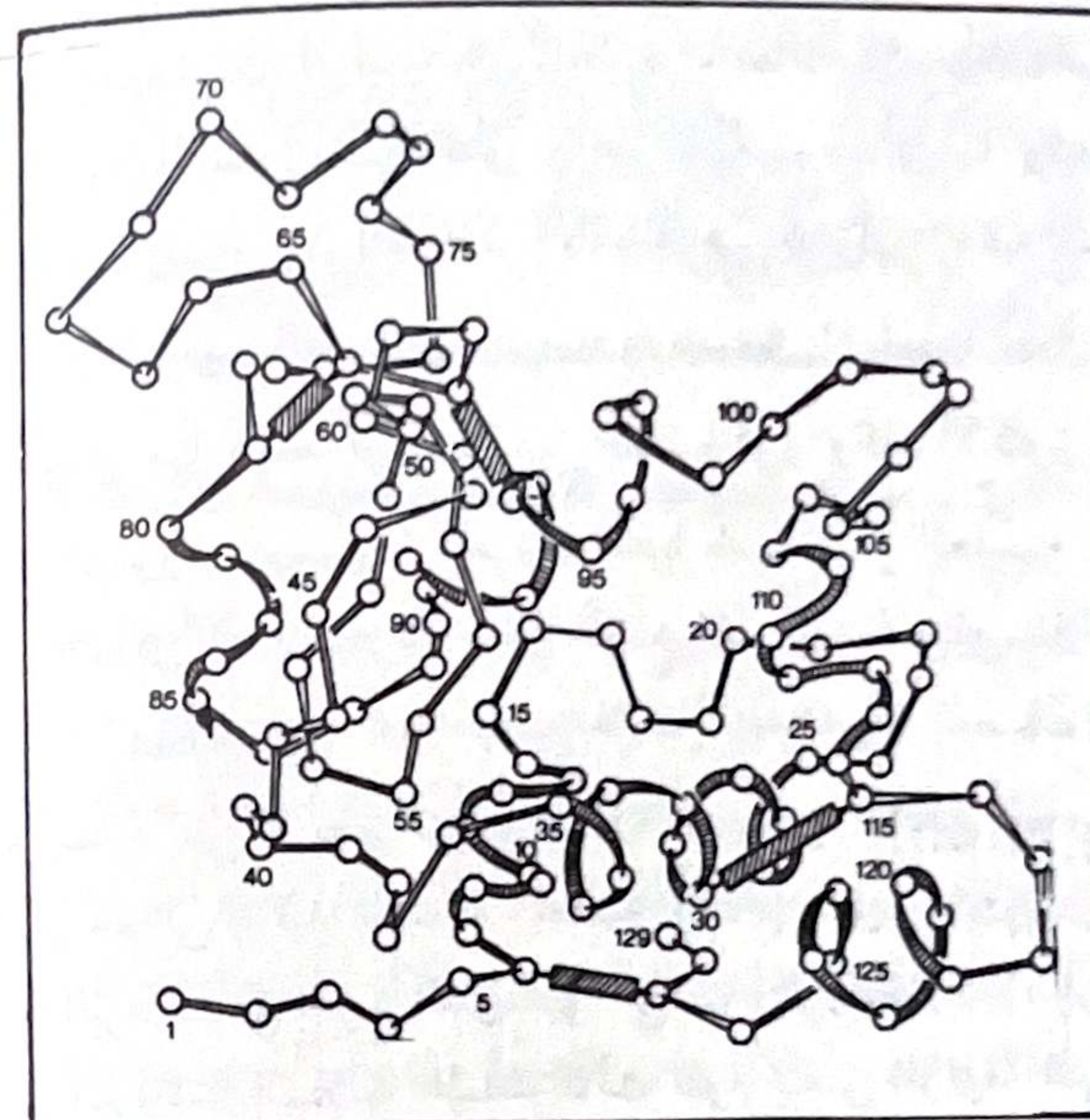
الشكل ٦/٢٠ ـ سياق الحوامض الامينية لليسوزيمة زلال البيض

توضح الليسوزيمة بالمثال كيف تتمكن سلسلة مفردة من البولي هضميتيد، لها طول كاف وتضم تنويعة من الحوامض الامينية، من خلق شكل ثلاثي الابعاد ذي سطح وتوجيه صائب للحوامض الامينية تجعلها عاملا تحفيزيا متناهيا في النوعوية٠ تبدلت الجينات السلف التي تترجم الى هضميتيدات في اثناء نشأة الانزيمات، تبدلت بالطفرة من خلال الازدواج والاستبدال تكرارا وافضت الى تحسين الانزيمات القديمة وادخال أخرى جديدة ضمنيا٠ لم ينشأ كل صنف من الاصناف المائة الف (١٠٠٠٠٠) أو حواليها من الانزيمات الموجودة في جسم الانسان منفصلا عن الاصناف الاخرى، وانما نشأت جميعها من الجينات البدائية القلائل التي ساهمت في تكوين الحياة٠

وبهذه الطريقة تم الاحتفاظ بالمعلومات لتنشئة سياقات تامة من الحوامض الامينية واستخدامها لتصنيع انزيمات جديدة فيما اصبحت البروتينات اكبر حجما واكثر تعقيدا٠

ظلت آلية التبدل بالطفرة توسع اعداد وأدوار الانزيمات وكذلك البروتينات الأخرى طوال نشأة وتطور الحياة٠ وكلما يتم التثبت من الكيمياء التفصيلية للمزيد من البروتينات بالاساليب العصرية، كلما تنكشف لنا عملية النشوء بمزيد من الوضوح٠ وقد اكتشف ان سياقات الحوامض الامينية في الليسوزيمة واللبن البومين أو اللاكتالبومين (lactalbumin) وهو أحد البروتينات الرئيسة في الحليب، مماثلة لكن وظائفهما مختلفة٠ وفيما تقوم الليسوزيمة بفلق رابط غليكوسيدي بيتا واحد اربعة (B-1, 4-glycosidic) بين السكاكر الامينية في جدران الخلية البكتيرية، يقوم اللبن البومين الفا (a-lactalbumin) بتسهيل او تمهيد مهمة تمثيل رابط غليكوسيدي بيتا واحد اربعة بين الغلوكوز والغالاكتوز (galactose) لتكوين اللبنوز (lactose) المعروف عاديا باسم سكر الحليب٠ يملك اللبن البومين الشكل العام للجزيئة، مع الموقع الفعال مستبقى، ولكنه يضم لثريونين (threonine) عند موضع حامض الغلوتاميك الفعال تحفيزيا في الليسوزيمة٠ على ما يظهر نتجت جينات الليسوزيم واللبن البومين من تناسخ الجين في حوالي ما قبل ثلاثمائة وخمسين (٣٥٠) مليون سنة في زمن تشعب السلالة البرمائية من الفرع الذي أدى الى نشوء الزواحف والاطيار والثدييات٠ وربما ان البروتينة السلالية السلف كانت تقوم بنفس الوظيفة التي تقوم بها الليسوزيمة اليوم، انما اللبن البومين اصبح اكثر تخصصا وهو يوجد اليوم فقط في الاثد المرضعة[٦]٠ (أثد:ج ثدي)٠

للانزيمات صفتان جزيئتان تسبغان عليها قدرات رهيبة مذهلة ، هما
موقع فعال يقوم بالتحفيز، ومكوّن او مقوم بروتيني (protein component)
يقوم بخلق الشكل البدني أو المادي الذي يتقبل الطبقات السفلية النوعية .
لم تكن الخلية البدائية الناشئة عن الكيميائيات ما قبل الحيوية لتملك القدرة
على تمثيل بولي هضميتيدات كبيرة ولا الدقة النوعوية التي تملكها الانزيمات
المعاصرة • فلابد ان كفاءة الانزيمات تطورت بفعل الانتقاء من خلال تطور
البروتينات وازديادها في الحجم والارتقاء، غير أن عملية التحفيز كانت ضرورة
لتتيح للخلية الارتقاء فوق السواد العادي للتفاعلات الكيميائية•



الشكل ٧/٢٠ ـ جزيئة الليسوزيم. المستطيلات المخططة قطريا تشير الى جسور ثنائي الكبريتيد الرابطة لاجزاء من سلسلة البولي هضميتيد . اما الاقسام الاخرى المخططة باطنيا فتشير الى لولب ألفا.

والانزيمات التي تتألف من سلاسل البولي هضميتيد فقط تقع في الاقلية،
فان معظمها تتضمن في موقعها الفعال مجموعة من الانزيمات المساعدة (coenzymes)
تقوم بوظيفة التحفيز• توجد مواد كثيرة من شأنها تحفيز التفاعلات الكيميائية
كأيونات المعادن المتعددة التكافؤ، ومشتقات الايميدازول (imidazole)
وبعض المركبات اللامتجانسة الدائرية (heterocyclic)، فتحتوي مجموعات
كبيرة على هذه المكونات الثانوية المساعدة لانشطتها • وهذه الانزيمات
المساعدة هي محفزات او عوامل تحفيز لاصناف معينة من التفاعلات الكيميائية
لكن بدون المكون أو الجزء المكون (component) البروتيني الملازم، انما
ليست محفزة لجزيئات عضوية معينة وتنقصها النوعوية الضيقة للانزيمات•

بدأت الحياة من تجمع للمواد في البيئة البدائية، ولم تكن توجد آنذاك
اية بروتينات ما قبل الحيوية، لكن الخلايا الناشئة اتخذت بكيفية ما آلية
خلوية بسيطة أطلقتها في طريق تمثيل البروتينات بهدف الرفع من القدرة
التحفيزية• يوجد ما يحمل على الاعتقاد بأن هضميتيدات ما قبل الحيوية كانت
متوفرة(٧)، وعلى ما يظهر بدأت الخلايا البيولوجية بمحفزات مشبوكة
بهضميتيدات صغيرة نسبيا كانت متواجدة في البيئة•

ان الفريدوكسين من اوضح الامثلة على انزيمة بدأت صغيرة وتطورت
بالحجم والقدرة على مر الدهور • هذه البروتينة الحديد ـ كبريتيدية جوهرية
الضرورة لاختزان الطاقة الملتقفة من ضوء الشمس ونقل الالكترون • وبحسب
رأي دايهوف(٨) ربما ان الفريدوكسين السلف كان تشبيكة من كبريتيد الحديد
الثنائي التكافؤ مع هضميتيدة تتألف من اربعة حوامض امينية هي: الالانين ،
والغلايسين، وحامض الاسبرتيك، والسيرين• هذه هي اربعة من الحوامض
الامينية الاكثر شيوعا المتكونة في تجارب الافتعال ، ويتم انتاجها بسرعة
وسهولة بتسخين سيانيد الامونيوم•

الفصل الحادي والعشرون ـ تجبير الجينات

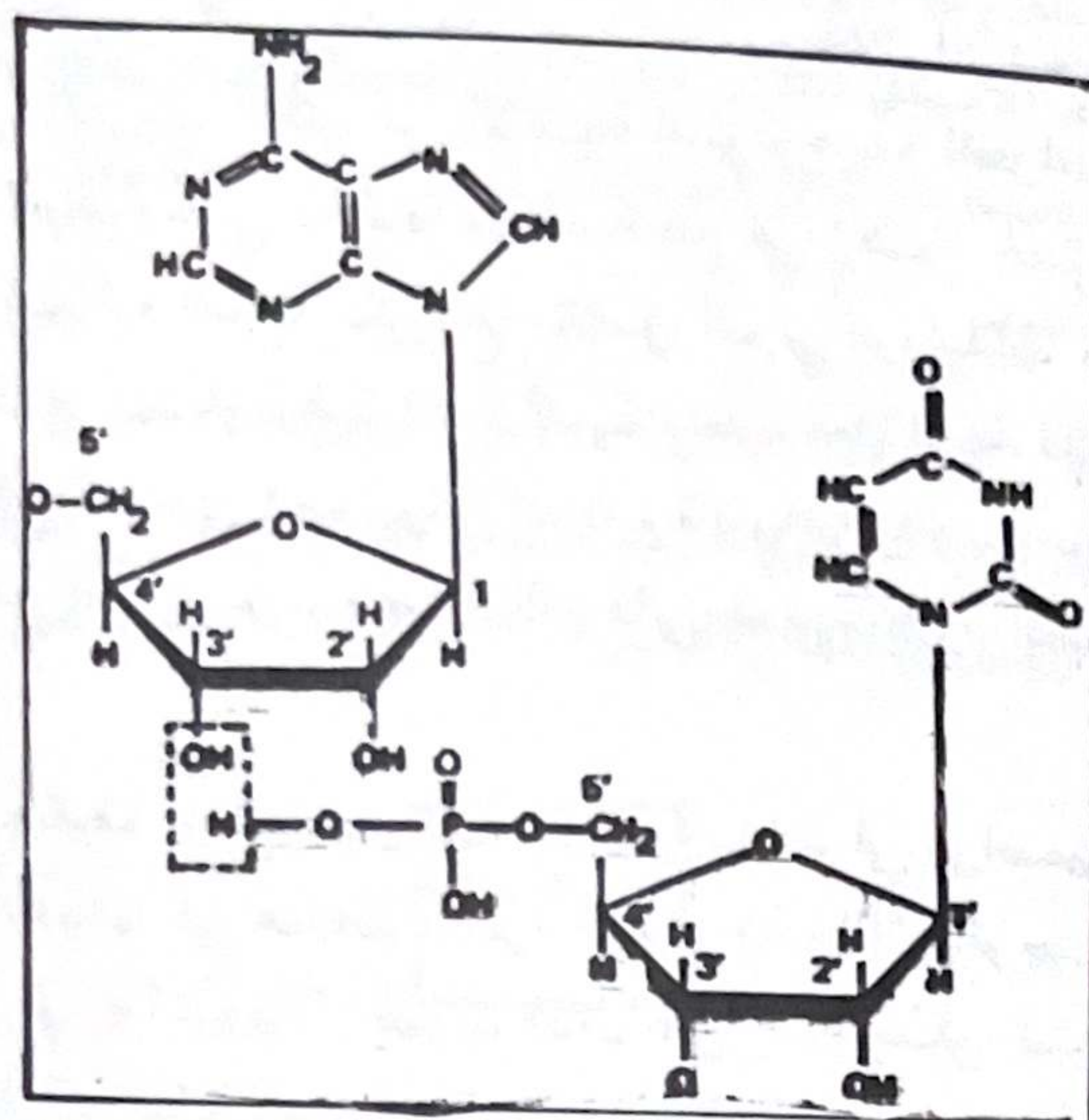
ربما لم يكن التواجـد ما قبل البيولوجي لبولي هضميتيـدات كبيرة ضروريا لنشأة خلية حية ، لكن البولي نووتيـدات كانت بالحتم جوهريـة الضرورة • من الصفات الاساسية للمنظومات البيولوجية التي تجعل الحياة ممكنة هي تناسخ حوامض النوويك وترجمة بنياتها الى بروتينات• تبقى جميع المحاولات المبذولة لابتكار منظومات تكاثرية غير مبنيـة على حوامض النوويك وكان يمكن ان تكون قد سبقت المنظومات البيولوجية الى التواجد، غير مقنعة• ويبدو انه لن يتسنى حل لغز نشأة الحياة الا عندما يتسنى ابتكار اسلوب يوضح بالمثال المشهود كيف امكن أن تتبلمر النووتيدات في الاحوال ما قبل البيولوجية على الارض البدائية•

توجد اربعة اصناف رئيسة من النووتيدات هي: الحوامض الادنيليـة (adenylic AMP) ، والغـوانيليـة (guanylic GMP) ، والسيتـديليـة (cytidylic CMP) ، واليوردبلية (uridylic UMP) • كل نووتيدة هي وحدة مشيدة من قاعدة بيورين وبيريميدين، وسكر خماسي الكربون (5-carbon sugar) وحامض الفوسفوريك • والنووتيدة التي تنقصها مجموعـة الفوسفـات تسمى بالنوسيدة• في وصف النووتيدات يجري ترقيم مجموعات الهيدروكسيل في الريبوز لغرض تأشير موضع ارتباط الفوسفـات • في حوامض النوويك ترتبط النووتيدات معا في جزيئـات بوليمرية شبه سلسلية بواسطـة جسر فوسفاتي بين موضع (٣ =3') من سكر احدى النووتيدات الى الموضع (٥ =5') من المونومر المجاور ، والنووتيدات التي تشكل الدنأ تختلف عن تلك التي تشكل الرنأ بانعدام الهيدروكسيل في الموضع (٢ =2')

في الريبوز، ولذلك تسمى حصة السكر ٢ ـ دي اوكسي ريبوز (2-deoxy ribose) وحامض الدي اوكسي ادنيليك (deoxyadenylic acid=d-AMP) ونووتيدات الدنا: (DNA) الأخرى مؤشرة بالبادئة (دي de—)

كانت مهمة الباحثين في دراسات نشأة الحياة ايجاد حالة جيولوجية طبيعية كان يمكن فيها ان ترتبط النووتيدات نهاية بنهاية (end-to-end) خالقة بذلك حوامض نوويك ما قبل البيولوجية . يأتي ليزلي اورجيل (Leslie Orgel) من معهد صولك وجماعة خوان اورو (Juan Oro) من جامعة هيوستون بين الباحثين الذين لا يزالون يبذلون الجهود لايجاد تمثيل لا حيوي للبولي نووتيدات في أحوال افتعالية لبيئة الارض البدائية.

كما بالنسبة الى الحوامض الامينية ان بلمرة النووتيدات هي تفاعل تجفيفي يتوجب فيه نزع جزيئة من الماء من كل رابط يتكون بين مونومرين اثنين . للاسف، تصبح المسألة عسيرة باللاتفاعلية النسبية لحامض الفوسفوريك وعجزه عن تكوين رابط ايستر مع هيدروكسيل السكر، فلا يمكن تكثيف النووتيدات بمجرد التسخين بسبب التحطم الحلحراري (pyrolysis= تحليل او تفسيخ المادة كيميائيا بالحرارة) الذي يحصل قبل تكون الايستر. وقد جرى تكثيف بعض النووتيدات باستخدام مفاعلات[1] مختبرية، انما بقيت مشكلة اكتشاف الظروف الطبيعية على الارض البدائية التي كان يمكن فيها أن تتكون بولي نووتيدات لا حياتية، واستدعى حل اللغز اكتشاف سر الطريقة التي كان يمكن للنووتيدات أن ترتبط معا بها لتكوين الجينات للخلايا الاولى.



ليست النووتيدات مجرد كيميائيات عادية . فهذه الوحدات الكيميائية المتكونة من ارتباط البيورين أو البريميدين بمجموعة من حامض الفوسفوريك والريبوز تتضمن خواص فريدة تعطيها سلوكا كيميائيا نوعيا ابتنت عليه الخلية الحية . واحدى هذه الخواص هي امكانية تنشيط المونونووتيدات الى مشتقات البولي فوسفات بمزيد من الفسفرة ، وبهذه الطريقة يتم خلق وحدات فوسفاتية عالية الطاقة لحمل الطاقة الكيميائية (high-energy phosphate carriers of chemical energy). لكن مفذاذية النووتيدات هي ان الترابط الهيدروجيني بين الازواج المتتامة القاعدية يقدم آلية صحيحة التوجيه ضمنية لتصفيف النووتيدات هي بالاصل أساس قدرتها على التناسخ وعلى ترجمة بنيتها من خلال المدونة الجينية.

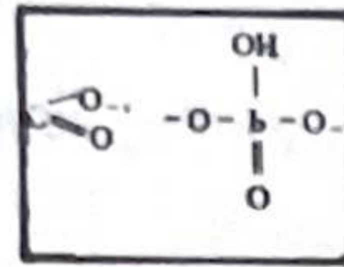
هذا التفاعل بين البيورينات والبريميدينات من خلال الترابط الهيدروجيني هو الاساس الجزيئي للكثير من الانشطة البيولوجيـة للحوامض النوويك. ان الرابط الهيدروجيني ذو طاقة منخفضة تقع في زهـاء خمس (١/٥) طاقة الاربطة الكيميائية العادية لكن مع سلاسل البولي نووتيدات مقترنة بأوهاز مزدوجة يمكن أن تكون قوة الشد كبيرة بمجرد فعل الربط المتراكم • كما ان الازدواج القاعدي ايضا نوعي للغاية ، فالغوانين يتحـد مع السيتوسين والادنين مع اليوراسيل ، وهو انتظام ذاتي ضمني يلازم الطبيعة الكيميائية للجزيئات•

ان التصفيف أو التوجيه الصحيح للنووتيدات في مواضعها قبل التكثيف خطوة لها اهميتها في عمليات البلمرة البيولوجية واللابيولوجيـة • عندما قام كورنبرغ وآخرون[٢] بضرب المثال على انـه يمكن تمثيـل حوامض النوويك خارج الخلية الحيـة باستخـدام الانزيمـة بوليمراز (polymerase) وايونات المغنيسيوم العاملة على ثلاثي فوسفات النووسيد ، اعلنوا ان البلمرة كانت بطيئة جدا الا اذا أضيف اليها حامض نوويك مشعـل (primer) ليعمـل كقوالب مطبوعة او مرسومة (template) •

كان هذا التراصف الذاتي للنووتيدات هو الذي حاول ليزلي اورجيل وجماعته من معهد صولك استخدامه للاستعـانة به لبلمرة النووتيـدات في محاليل مائية في بحوثهم عن التكون ما قبل البيولوجي للبولي نووتيدات. أما بالنسبة الى النووتيدات فانهم اختاروا استعمال المونوفوسفات لأنها أكثر استقرارا من ثنائي وثلاثي الفوسفات وكانت لتكون أكثر انتشارا في الارض ما قبل البيولوجية • وأضافوا حامض البولي يوريديليك كمرسومة يتراصف عليها الاحادي او المونوفوسفات الادنيليك (AMP) لغرض تكثيفه•

لكن لما كانت مجموعة الفوسفات غير شديدة التفاعلية مع هيدروكسيل السكر لتكوين الرابط الاسهافي الثنائي الايستر (diester linkage) حاولوا ملافـاة هذه المشكلة باستخدام ثنائي ايميد الكربون (carbodimide) قابل للذوبـان بالماء كعامل تكثيف •

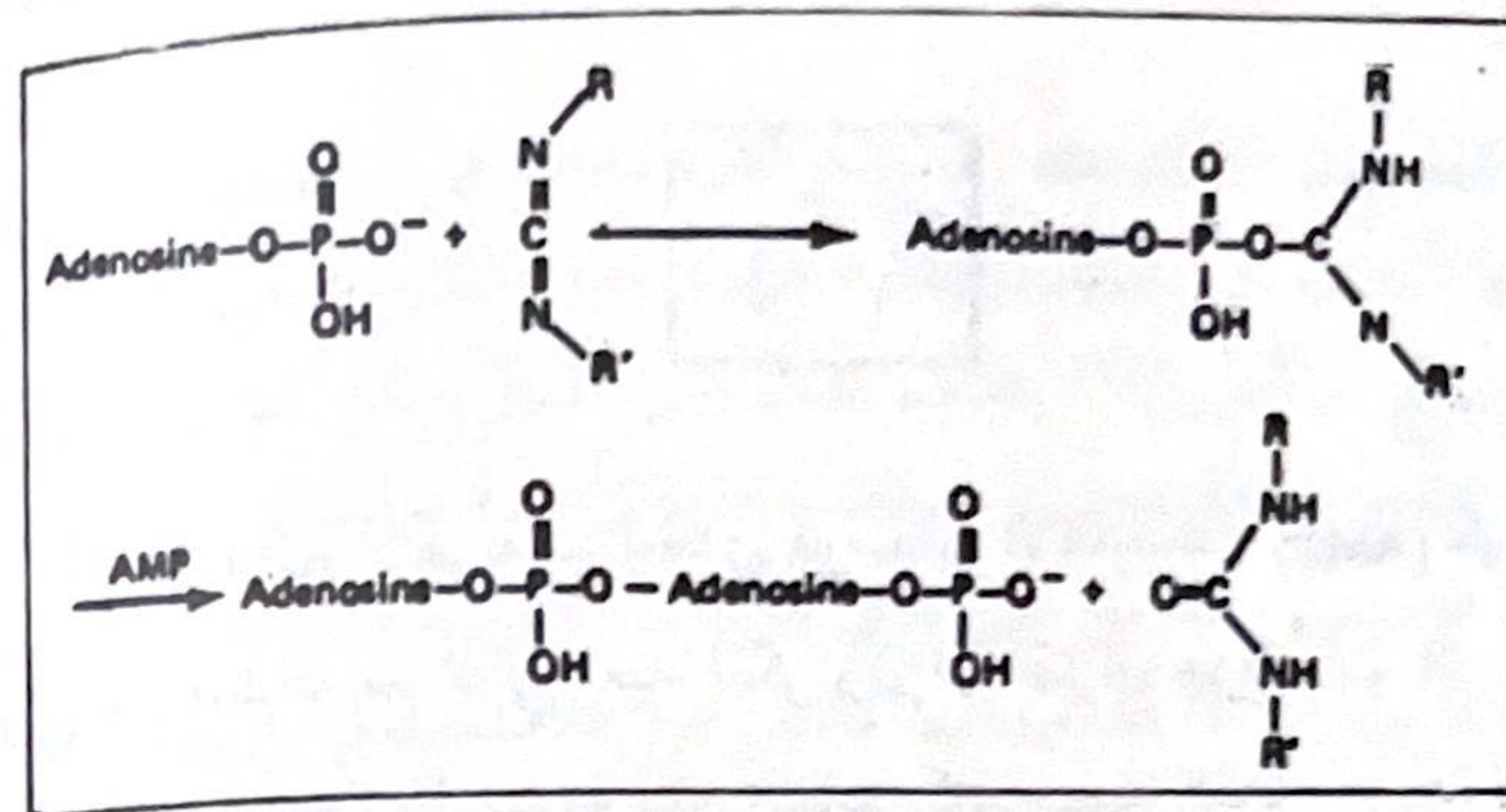
ثنائي ايميدات الكاربون هي معاملات (reagents) مختبرية تتشابك مع المجموعات اللاايونية لتشكيل مشتقات منشطة تتفاعل بسرعة مع الهيدروكسيلات أو الامينات (amines) لانتاج الاسترات او الامينات المعنية• على سبيل المثال:



وأبانت نتائج التجربة مع احادي فوسفات الادنيليك (AMP) على حامض البولي يوريديليك مع ثنائي اميد الكربون ان اقتران جزيئـات الـ AMP حصل وكان مستحثا بالمرسومة لكن التفاعل كان ضعيفا للغاية • زيادة على ذلك لم تكن الثنائيات dimers = di = ثنائي، و mer كاسعة لتشكيل البادئة ، على غرار poly-mer) التي تكونت من الترابط الاسهامي (٣، ٥ـ: 3,' 5-linkage الموجود في حوامض النوويك ، وانما خليطا من ثنائي نووتيدات ذوات اربطة (2,' 5-, and 5,5-)

حاول اورجيل وجماعته سبيلا آخر• بدلا من استخدام المونوفوسفات اللاتفاعلية نسبيا، اعتزموا الآن على استخدام المشتقات المنشطة للنووتيدات كمواد الانطلاق، معللين ذلك ان عندما تقوم المنظومـات البيولوجية بصنع حوامض النوويك تستخدم مشتقات ثلاثي الفوسفات كعوامل التفاعل • لكن

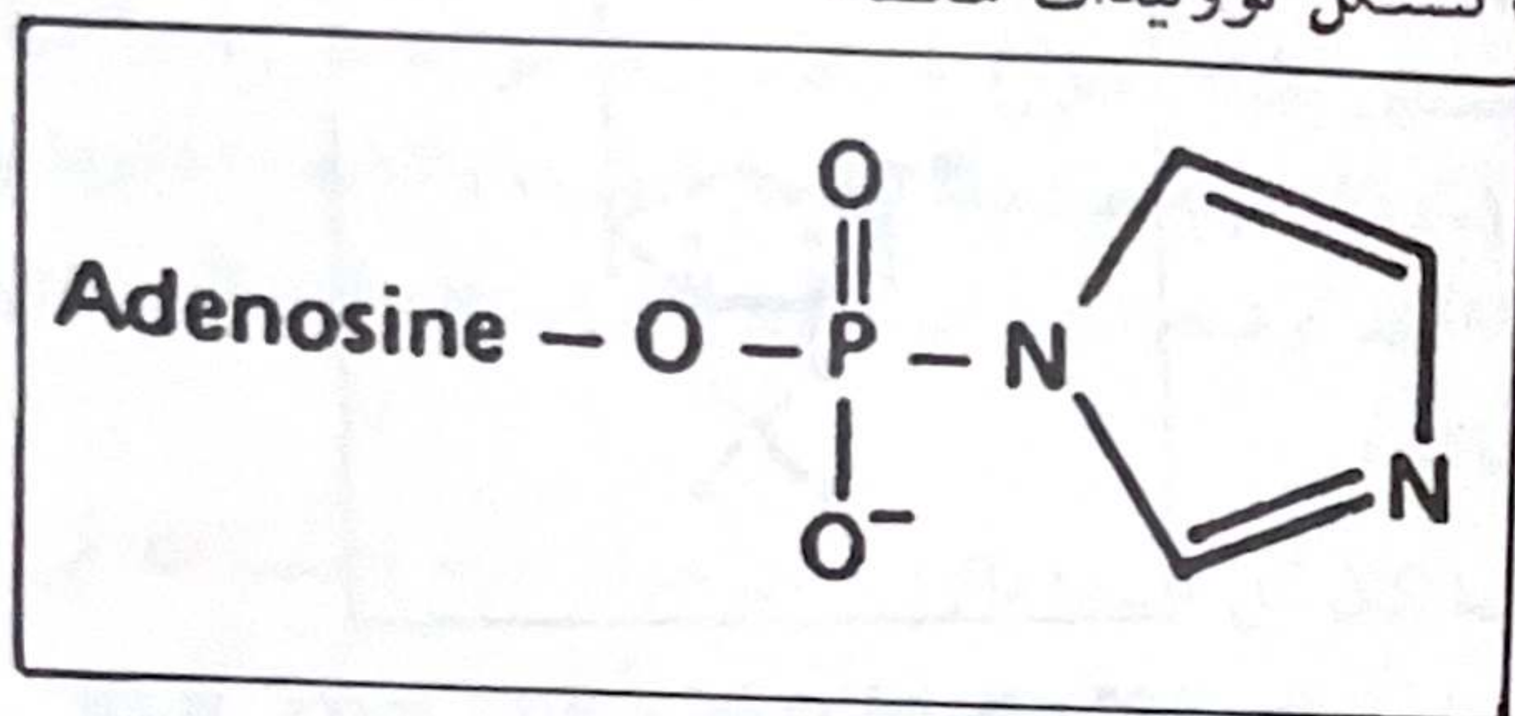
المتعضيات تملك انزيمة لتنفيق تفاعل البلمرة • وعند خلط الأتب مع المرسومة (template) في ماء يتضمن ايونات المغنيسيوم، كوّن الأتب شبيكة لولبية مستقرة مع حامض البولي يوريديليك، ولكن بعد ذلك تحلمأ الى أدب وأمب (ADP و AMP) • وبدت بولي فوسفات النووسيدات مختلة الاستقرار للغاية في الماء ليمكن اعتبارها الجواب، مما دفع الباحثين الى التفتيش عن صنف آخر من النووتيدة المنشطة التي يمكن أن تكون قد تواجدت على الارض ما قبل الحياتية وكانت اكثر استقرارا في تلك الاحوال مما هي ثلاثي الفوسفات•



الشكل ٢١/١ ـ فوسفوراميدات A phosphoramidate

اكتشف احد افراد الجماعة وهو ايل لورمان (L. Lohrmann) اثناء فحص سلوك الامينات، بما فيها الحوامض الامينية ، عند تدفئتها مع الأتب والمغنيسيوم ++(Mg++) في الحالة السائلة وفي الحالة الجافة ، اكتشف مسلسلا من التفاعلات نادرة غريبة• تتفاعل الحوامض الامينية مع الأتب عند تواجد ما يكفي من مغ ++(Mg++) لتشكيل الفوسفوراميدات (phosporamidates) • كما ان امينات أخرى، بما فيها الامونيا ، والايميدازول

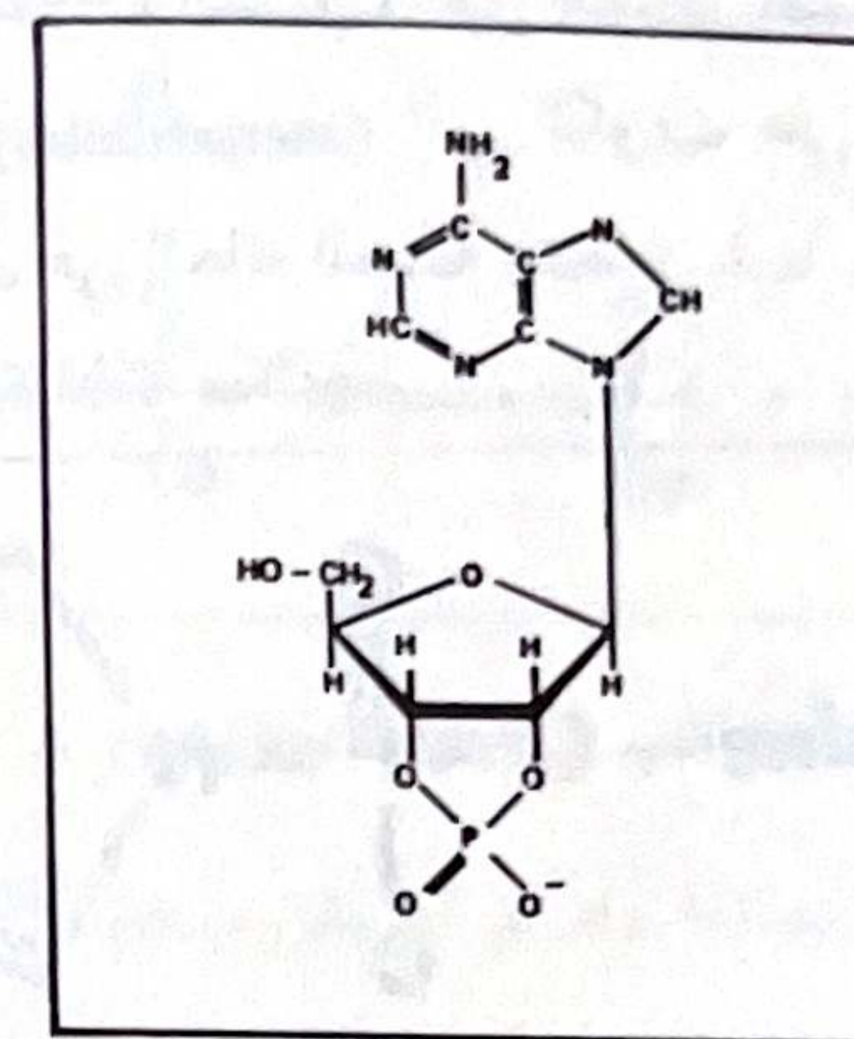
والاثيلين ثنائي امين (ethylenediamine)، ايضا اعطت فوسفوراميدات مع أتب وبولي فوسفات أخرى• تتمثل أهمية الفوسفوراميدات في انها شديدة المقاومة فوق العادة للحلمأة في السائل القلوي مع بقائها مع ذلك منشطة مع مجموعة الفوسفات• اكتشف لورمان[٤] أن مشتق الايميدازول من حامض الادنيليك، وهو خماسي فوسفوراميدازول الادنوسين (adenosine 5'-phosphoramidazole) يتكثف بكفاءة عالية جدا على مرسومة حامض البولي يوريديليك ليفضي الى ثنائيات (dimers) واوليغو نووتيدات اعلى• وهكذا نرى تفاعلات الحوامض الامينية او الايميدازول أو امينات أخرى المحفزة بالمغ++ كان بوسعها ان توفر مشتقات النووتيد التي كانت لتساهم مباشرة في عمليات التمثيل ما قبل الحياتي للبولي نووتيدات• والعوامل الوسيطة المنشطة (intermediates) التي تكونت على افضلها في الاحوال الجافة كانت لتتكون في الحالة الصلبة وتتفاعل فيما بعد في تواجد قدر قليل من الماء لتشكل نووتيدات مكثفة•



الشكل ٢١/٢ ـ خماسي فوسفوراميدازول الادنوسين •

قام رنتس (Renz) ولورمان واورجيل[٥] بمزيد من التحري للتفاعل باستخدام ثنائي، ثلاثي، فوسفات الادنوسين (adenosine 2,' 3'-phosphate)

وهو الايستر الباطني الدائري لحامض الادنيليك • تمثل ثنائي، ثلاثي، الفوسفات الدائرية الناتج الرئيس في فسفرة النووتيدات المحفزة باليوريا في الحالة الجافة وكانت لتكون شكلا كيميائيا معقولا للنووتيدات على الارض البدائية ، لم تتكثف ثنائي، ثلاثي، فوسفات الادنوسين على مرسومة حامض البولي يوريديليك مع ايونات المغنسيوم ، لكن عندما استعيض عن الأيونات بمحفزات بسيطة كالغلايسيناميد (glycinamide) أو ثنائي امين اثيلين (ethylenediamine) أو ثنائي امين البولي اثيلين، تم الحصول على نواتج جيدة من ثنائي وثلاثي النووتيدات ، ربما ان الوسيط الفعال في التفاعل كان الفوسفوراميدات الذي تكون بالنووتيد والامين•



الشكل ٣/٢١ ــ ثنائي، ثلاثي، فوسفات الادنوسين

حتى هذا الوقت كانت جماعة اورجيل تسعى جاهدة لايجاد السبل التي كان يمكن ان تتبلمر بها النووتيدات في السائل في أحوال تفتعل البحار البدائية • وذلك لأن هذه المرسومة كانت جوهرية للجمع بين المونومرات

للتفاعل • غير ان هذا الاسلوب كان سيستلزم تفسيرا للظهور ما قبل الحياتي للمرسومة• ثم اكتشف فرلاندر (Verlander) ولورمان واورجيل[٦] ان المرسومة غير ضرورية في أحوال معينة •عندما ترك خليط التفاعل من ثنائي، ثلاثي، فوسفات الادنوسين مع الامينات الاليفاتية في مستوى يدّ قلوي ليتبخر حتى الجفاف والترخم (incubate) بدرجة حرارة (٨٥ـ٩٠°) مئوية حصل تبلمر ذاتي للنووتيد الدائري• تم الحصول على اوليغومرات حتى السداسي (hexamer) بكميات جيدة مع خمسة بالمائة (٥٪) من الناتج أكبر من طول ست وحدات• وكان طول الجينة الاولية قد تمدد الى ست وحدات فرعية•

لم يكن التفاعل المستخدم نووتيدات دائرية مقصورا على مشتقات الادنوسين ، عند تسخين ثنائي، ثلاثي، فوسفات السيتدين في درجة حرارة (١٣٨°) مئوية لمدة يومين حصل كلود تابيرو (Claud Tapiero) وجوزيف ناجيفاري (Joseph Nagyvary)[٧] على اوليغومرات بأطوال حتى السداسي في نواتج خمسين بالمائة (٥٠٪) • وهذه درجة حرارة عالية ولكنها تقع دون مستوى (١٤٠°) مئوية حيث يبدأ التفسخ البطيء• وكان جيه شكودا (J. Skoda) وزملاؤه[٨] قد اوضحوا قبلا ان ثنائي، ثلاثي، فوسفات اليوريدين أعطت تبلمرا مماثلا •

وفيما كان كل هذا دائرا ، كان خوان اورو وجماعته في هيوستون يحاولون بلمرة النووتيدات بطريقة أخرى• كما سلف ذكره فقد تبين ان مركبات الايميدازول عوامل تفاعل مناسبة لتكثيف النووتيدات• في عام ١٩٦٩ أعلن أو پونكز (O. Pongs) وپي أو پي تسئو (P.O.P Ts'o) وهما كيميائيان من جامعة جونز هوبكنز عن بلمرة خماسي- فوسفات الثايميدين (d-Tmp)

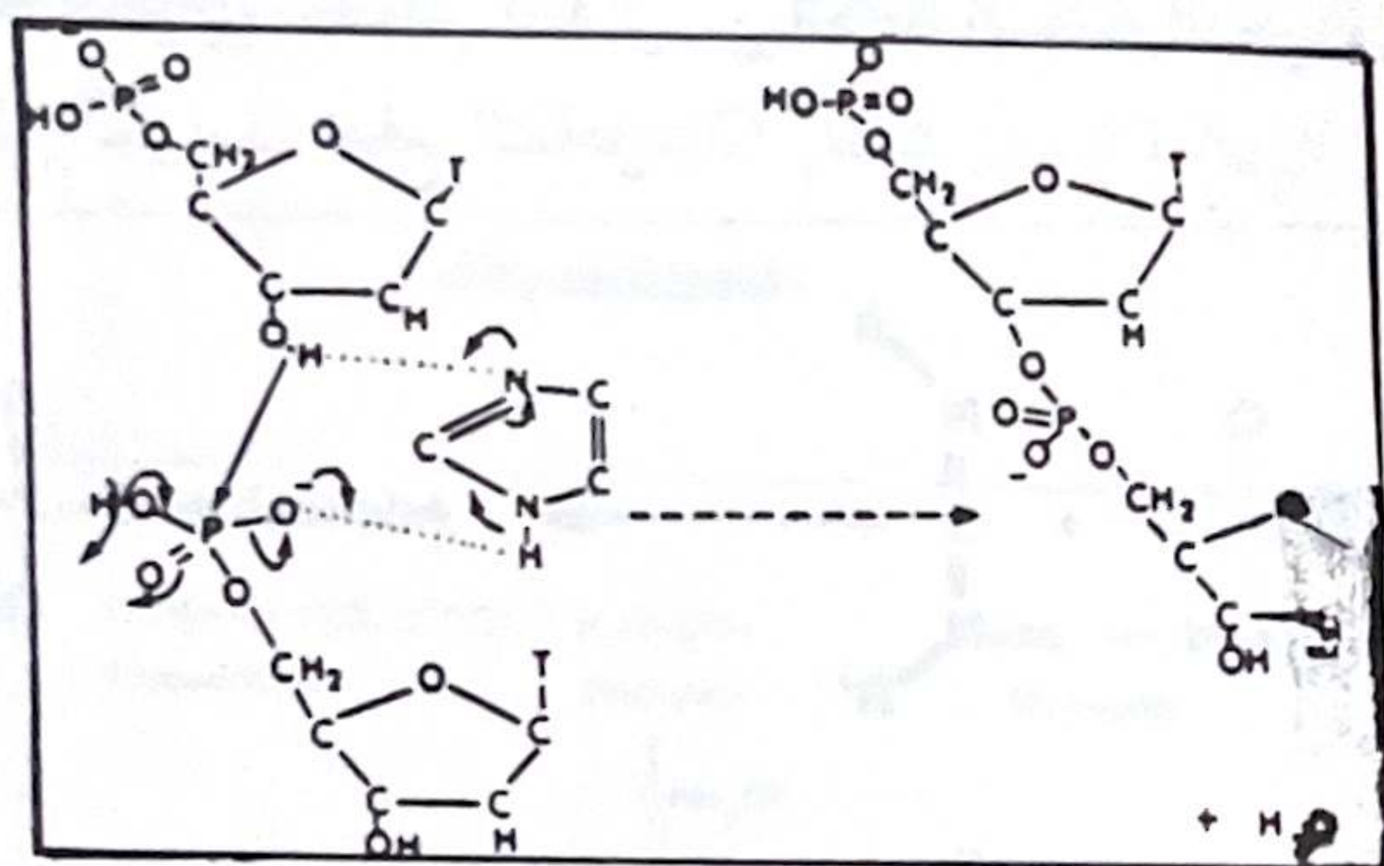
كليا الى اوليغونووتيدات ثلاثية، خماسية،ــ الترابط (3,' 5'-linked) في ناتج يتراوح ما بين اربعين الى خمسين (٤٠ــ٥٠٪) بالمائة باستخدام حامض رباعي (خماسي البروبانيك (4(5)-propanic acid) كمحفز. غير ان احوال التفاعل استدعت اعادة الشطف او التبخير (reflux) لمدة ربع ساعة في المذيب المختبري ثنائي ميثيل فورماميد (dimethylformamide). ورغم ان الاحوال لم تكن ذات صلة ببيئة جيولوجية ، فان التحفيز والنتائج كانت مماثلة للمحصلة المتوخاة من تجربة افتعالية.

ان حلقة الايميدازول ، كسلسلة جانبية للهستدين (histidine) وحدة تحفيزية مهمة في العديد من التفاعلات الانزيمية . وبما ان الحلماة الحامضية تبتدر بالبرتنة، أي ضخ البروتونات كخطوةبادئة، فان الانزيمات التي تحفز الطبقات السفلية بهذه الآلية تحتوي على مورد بروتون ومتقبل بروتون في موقعها الفعال . وبنية الايميدازول المتضمنة ذرتين نيتروجين مشتركتين في ذرة هيدروجين مفردة فيحلقة خماسية الافراد مع اربطة مزدوجة نقالة تملك القدرة على العمل كمورد وكمتقبل للبروتون . والنيتروجينتان في الواقع متعادلتان ، وبنقل الاربطة المزدوجة ، تستطيع الهيدروجينات الارتكاز على هذه النيتروجينة او تلك. والايميدازول يملك قدرات التحفيز لأنه يتمكن توريد الهيدروجين من نيتروجينة واحدة واعادة التفاف هيدروجينة أخرى بالنيتروجينة الثانية ، وبذلك يعيد توليد البنية الاصلية في العملية.

ويفترض ان عندما يقوم الايميدازول بتحفيز اقتران جزيئتي (d-TMP) يلتقف زوج الالكترون المكشوف على نيتروجينته المفردة هيدروجينة الهيدروكسيل من الجزء التكويني دي اوكسي ريبوز مطلقا بذلك تفاعل سلسلي من تناقل الالكترونات[١٠] . يفقد فوسفات (d-TMP) بروتونته

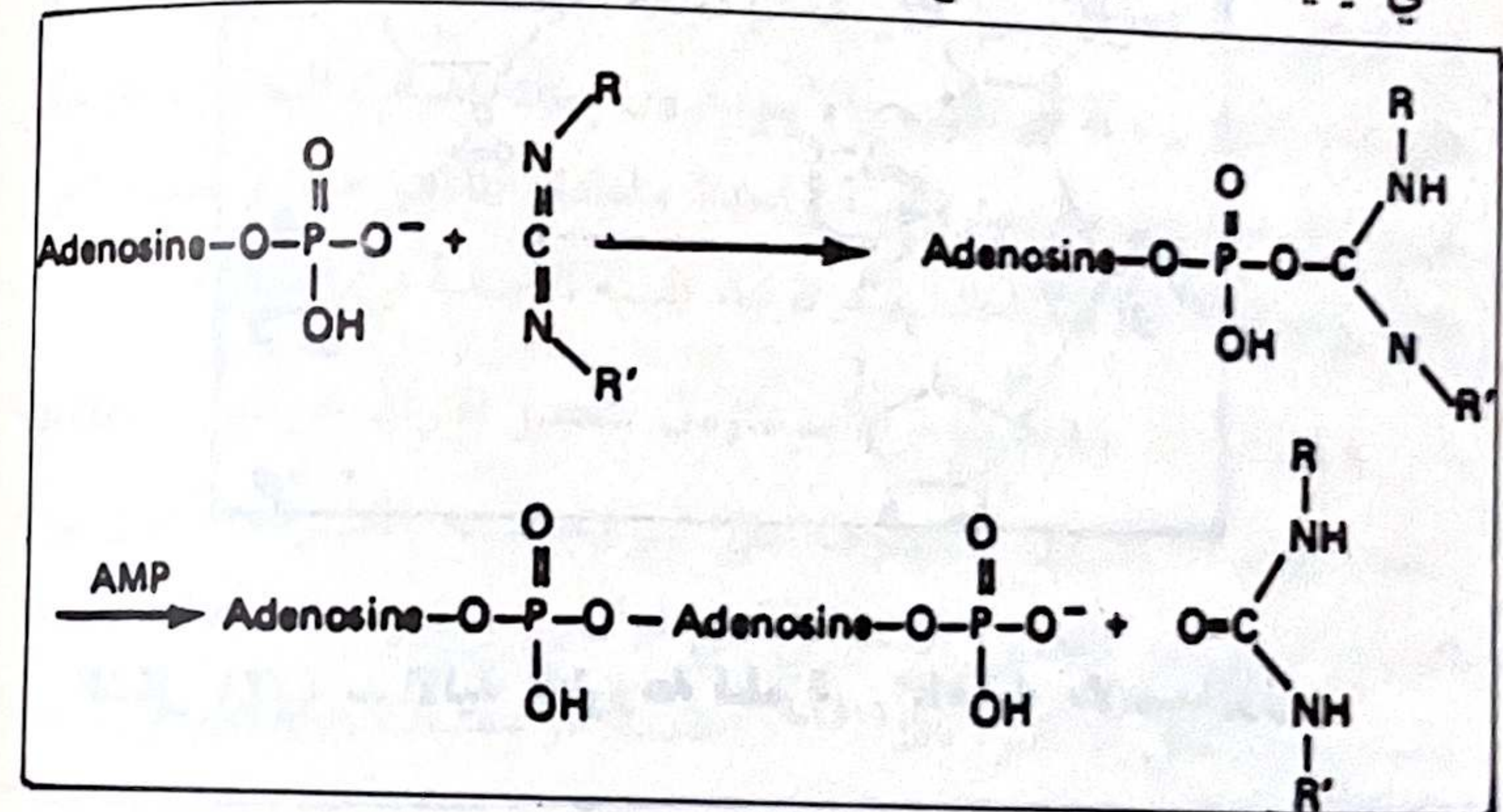
الحامضية (H+) من جانب وينقطع اوكسجينها اللاايوني فيما تتناول هيدروجينة الايميدازول من الجانب الآخر لتشكيل الهيدروكسيل (OH-) يمثل النبذ المتزامن لبروتونة وايونة الهيدروكسيل فقدان جزيئة من الماء ويرتبط المونومران d-TMP في العملية.

لتعديل تفاعل بونكزــتسئو كنموذج للتكاثف التلقائي للمونونووتيدات، قام جيه ايبانيز (J. Ibanez) وأي.بي كيمبال (A.P. Kimball) وجيه اورو[١١] باجراء تجربة هذا في درجات حرارة عالية مع d-TMP والايميدازول في الماء. وعند سطم عوامل التفاعل في أنبوبة زجاجية وترخيمها بدرجة حرارة (٩٠°) منوية لمدة (٢٤) ساعة جاء الناتج بأوليغومرات من اطوال وحدتين الى سبع وحدات مع الترابط الاسهافي الطبيعي ٣، ٥،ــثنائي استر الفوسفات (3'5'-phosphodiester) لكن الحصائل كانت بضع نسب بالمائة في اقصاها .



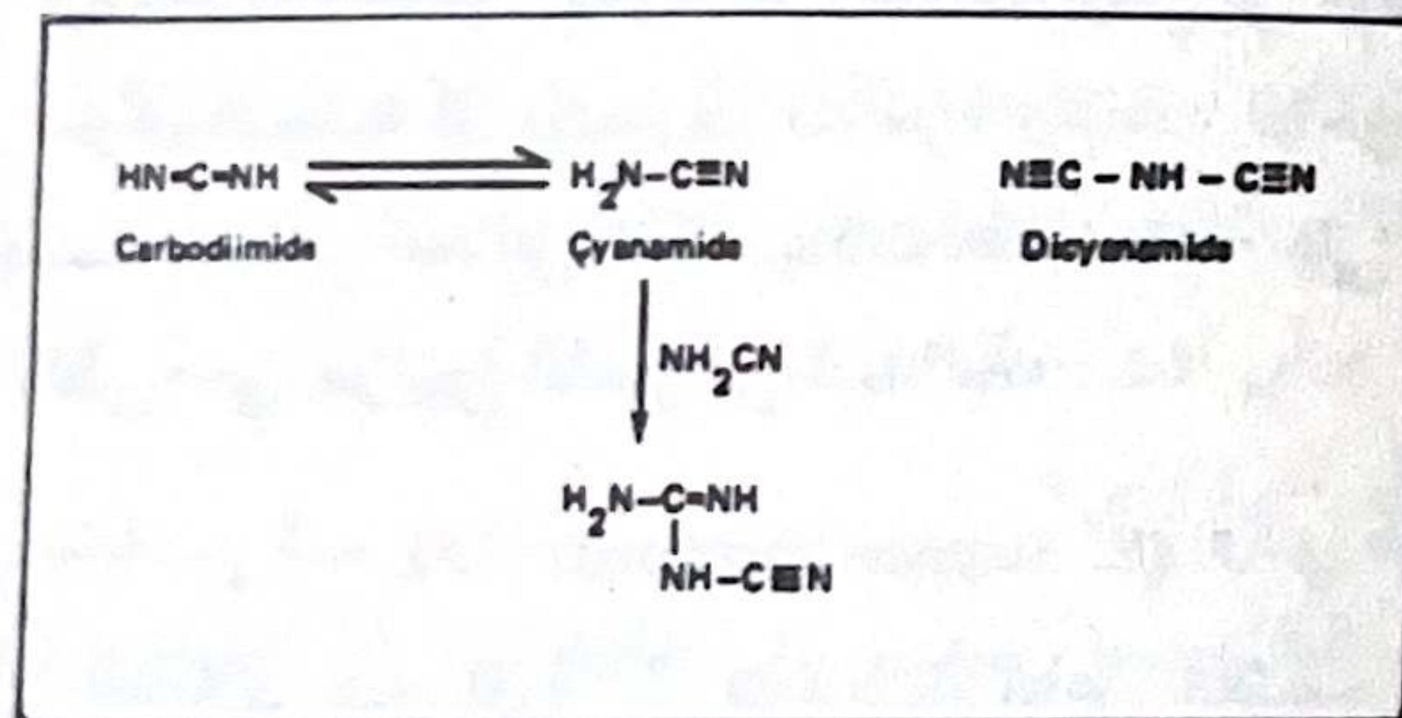
الشكل ٤/٢١ ــ الآلية المطروحة لبلمرة d-TMP بالايميدازول.

ان المشكلةفي محاولة بلمرة النوويدات في الماء هيان ازالة جزيئة الماء من العوامل المتفاعلة ينافي الفعل الاجمالي من رجحان المذيب . مع ذلك، توجد عوامل تكثيف كيميائية يمكنها استخراج الماء من المركبات في وسط مائي، وقامت جماعة هيوستون بتحري هذه . ان صنف المركب الذي استخدمته جماعة اورجيل في البداية ، أي ثنائي ايميدات الكربون ، لا يزال يستخدم كوسائل في الكيمياء العضوية منذ عقد مضى. تستخدم هذه المواد كعوامل تكثيف مناسبة ، انما بالاصل استخدمت في المذيبات اللامائية نظرا لسرعة جنوحها للتحلمؤ، لكن بعد أن اكتشف ان مشتقات الملح من ثنائي الكيل امينو ثنائي ايميد الكاربون (dialkylamino carbodiimides) وهي 1-Ethyl-3-3(3-dimethylamino-) (propyl)-carbodiimide hydrochloride وهي قابلةللذوبانفي الماء، تتفاعلاسرع مع اللاايونات ممامعجزيئات الماء. وطريقة التفاعل لثنائي ايميدات الكربون في تفاعلات التكثيف هي اولا التفاعل مع اللاايون لتشكيل شبيكة التي آنذاك تتحلمأ باستخراج الماء من المونومرات. (أنظر المعادلة التالية). والقدر الكبير من الطاقة السائبة المتحررة من تجفيف ثنائي ايميدات الكربون تدفع التفاعل.

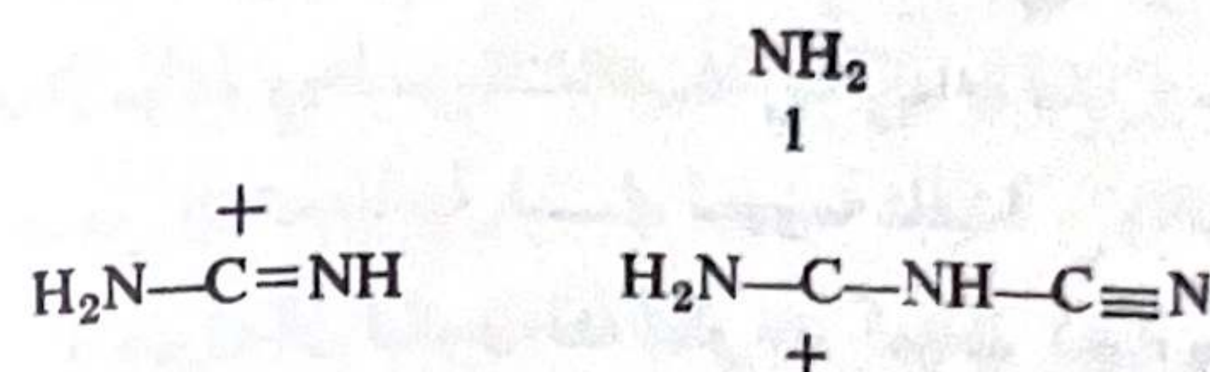


ان ثنائي اميدات الكربون (carbodiimides) كيماويات مختبرية ولا يحتمل ان تكون قد تواجدت على الارض البدائية. اما التوتومر (tautomer) من جهة أخرى فهو سيانامید (cyanamide) وهذه مادة كيميائية يعتقد انها تواجدت بكثرة على الارض البدائية اثناء تكون لبنات البناء الحياتية . (ملاحظة tautomer : مماثل كيميائي يقع متوازنا بين شبيهين او ايسومرين isomers ويتفاعل بسرعة لتكوين أي منهما). والسيانامید وثنائية (dimer) دایسیاندیامید (dicyanadiamide)الذي يتكون في السوائل القاعدية ، والدایسیانامید (dicyanamide) وهو مشتق آخر للسيانيد (cyanide) هما عاملا تكثيف ابسط من الكاربودای امیدات ولا يستبعد تواجدهما ومساهمتهما في تفاعلات التكثف ما قبل الحياتية في الارض البدائية . يتكون السيانامید بفعل الاشعاع ما فوق البنفسجي على المحاليل المائية من سيانيد الامونيوم. ليس التفاعل عالي الكفاءة لكن وجود الهاليد (halide) يؤدي الى تحسين الناتج بآلية ليست مفهومة جيدا . وبالنظر الى أحوال التفاعل فانه من المعقول أن تكون قد تكونت كميات كبيرة من السيانامید وتوفرت في الارض البدائية لتعمل كعامل تكثيف.

dicyandiamide



بما ان النـــوع الفعـــال مـــن السيـــاناميـــد والـــدايسيـــانديـــاميـــد (cyanamide, dicyandiamide) هو كاتيون (cation) فان فائدتيهما كعاملي تكثيف اشد فعالية في محلول حامضي بمستوى (سّ يد ٢) • (أنظر المعادلة التالية). ربما ليس لمثل هذه المستويات المنخفضة من (سّ يد) اية صلة جيولوجية لكن التفاعل يحصل ايضا على مستويات من (سّ يد) اعلى الا انه ابطأ بكثير. عند استخدام السياناميد كعامل مكثف مع الايميدازول كمحفز، امكن تكثيف d-TMP الى اوليغومرات وصل طولها حتى خمس وحدات[١٢]، لكن النتائج من تفاعلات المحلول حتى في درجات حرارة مرتفعة لم تكن مشجعة • كانت الحصائل منخفضة وبدت احتمالات تمديد تفاعل التكثيف الى أبعد من مجرد بضع وحدات غامضة.



في هذا الاوان اكتشف ان حالة واحدة كانت مؤازرة للبلمرة ، فقد كانت النتائج تأتي أفضل باستمرار كلما تبخر خليط التفاعل حتى الجفاف. وقدم هذا دليلا الى كيفية امكان حصول بلمرة النووتيدات، ليس في البحار البدائية بذاتها انما في أحوال التجفف في البحيرات المتبخرة وجفاف الاخوار البحرية، أو حتى في جفاف وتحمص محاليل المتفاعــلات المتطشطشة على الصخــور أو المنبسطات الطينية في حواشي الاحواض البدائية.

قــام آي ستيفــن شــروود (E. Stephen-Sherwood) ودي جــي اودوم (D.G. Odom) العاملان مــع اورو[١٣] بتمديــد تفاعل تكثيــف الـ TMP

باضافة بعض ثلاثي الفوسفات اليه. استعمل هؤلاء السياناميد كعامل تكثيف مع اضافة AICA كمحفز، وهو أحد مشتقات الايميدازول الوسيط في تمثيل البيورينات من سيانيد الامونيوم. عند تعريض المتفاعلات لاحوال التجفيف وترخيمها بدرجة حرارة (٦٠–٩٠°) مئوية تم الحصول على اوليغومرات بلغت حتى اربع وحدات في الطول. والفائدة من خليط النووتيدات هي انحصيلة الاوليغومرات لم تعد تأتي صغيرة وانما فعلا بحدود (٢٥–٣٠) بالمائة ، أي أكثر من عشرة اضعاف مقاديرها من استخدام المونوفوسفات بمفردها.

مع ذلك، بالرغم من النجاح في تكوين الاربطـة ما بين النووتيـدات (internucleotide bonds) في أحوال مشابهة لتلك التي تتواجـد على الارض البدائية، الا أن مدى البلمرة بقي ضيقا ضئيلا، وأضيق بكثير مما يمكن معه تصور حصول أي تجمع يؤدي الى تكوين خلية وظيفية • بدا كأنما الطبيعـة كانت شديدة الحرص على كتمان سر فعلها العظيم ولم تكن لتدعه يقع الا بعد مشقة بالغة. كيف اذن امكن للبولي نووتيدات ان تبلغ من الكبر ما أعـانها على اجتياز عتبة الحجم لتعمل في خلية وظيفية ؟

كانت البحوث على البولي نووتيدات موجهة الى ايجـاد الاحوال التي كان من شأنها تنفيق بلمرة النووتيدات الى سلاسل طويلة لتعمـل كجينـات بدائية، انما النتائج حتى تاريخه كانت قد ابانت انه كان بامكان اوليغونووتيدات بأطوال ست الى ثمان وحدة ان تتكون في الاحوال البدائية ، لكن أحدا لم ينجح في انتاج سلاسل اطول منها بكثير. مع ذلك، فقد نجحت الطبيعة بطريقة ما في خلق بولي نووتيدات ذوات اطوال تكفي لتؤدي في النهاية الى تشغيل آلية التمثيل البروتيني.

هناك الكثير مما يدعـو الى الاعتقـاد بأن الطرائق الكيميـائية التي

استخدمتها المنظومات البيولوجية لم تكن تطورات صدفة ، وانما نشأت من تبني تفاعلات كيميائية عادية • ومغزى هذه النظرة هو ان لما كانت عمليات الحياة قد تطورت من خطوة الى أخرى في مسلسل متواصل ، فربما انه من الممكن تتبع مسلك النشأة لاكتشاف كنه التفاعلات الكيميائية التي عملت كطلائع لنشأة العمليات البيوكيميائية التي تستخدمها المتعضيات الحية.

يبدو ان النووتيدات لم تتبلمر من فورها في سلاسل طويلة • لابد انه تواجد جهاز اتاح نمو السلاسل الطويلة بطريقة نظامية • كما ورد البيان سابقا، يبدو ان التكثف ينال عونا عند توجيهه على مرسومة، رغم انه وجد ان هذا لم يكن شرطا في الاحوال المتجففة. الا انه من الممكن تماما ان تكون البولي نووتيدات الطويلة السلاسل الابتدائية قد نشأت على الارض ما قبل الحياتية بنفس المنوال الذي لا تزال المتعضيات تقوم بتمثيلها به اليوم، أي كجزيئة مزدوجة الوهن•

عندما تقوم الخلايا المعاصرة بنسخ الدنأ (DNA) تقوم بشطر الجزيئة المزدوجة الوهن وتكثيف النووتيدات الموجهة في الاوهان المفردة للدنأ لنسخ الدنأ من جزيئته المزدوجة الوهن بدون سابق ممهد اليه ، وبالاحرى لابد ان الاستنساخ جاء كتتمة استمرارية من الكيمياء ما قبل الحياتية • بعبارة أخرى، ربما ان البولي نووتيدات لم تنشأ كمنتوجات تكثف مفرد وانما كجزيئات مزدوجة الوهن•

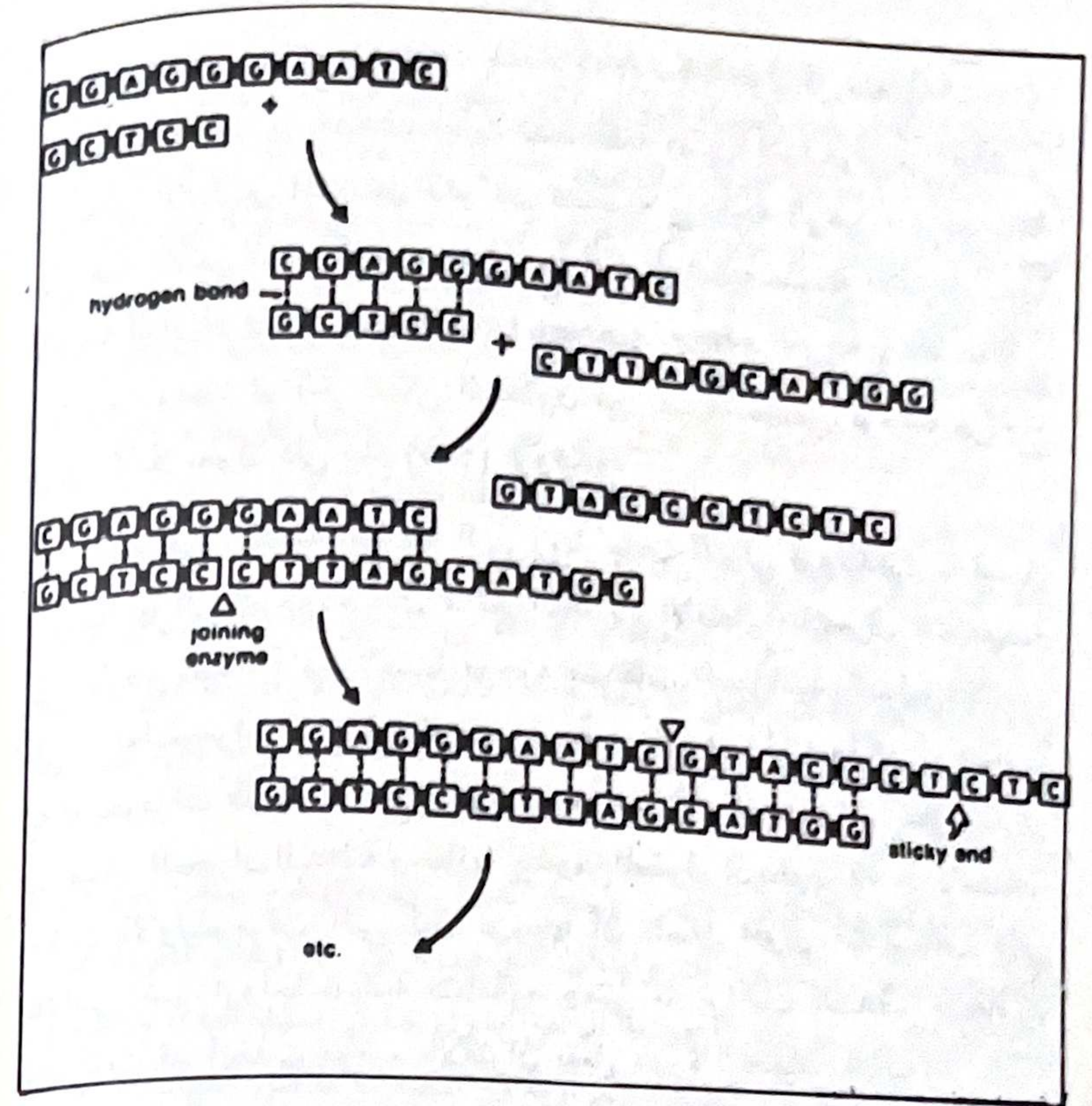
كانت المسألة المؤدية الى الجينات الاصلية لاول خلية وظيفية مماثلة للمشكلة التي واجهت ايج جي خورانا (H.G. Khorana) وزملاءه[١٤] في جامعة ويسكونسن ومعهد مساشوسيتس للتكنولوجيا عند بحثهم عن وسيلة لتمثيل جينة• لم تقم جماعة الباحثين بمحاولة بلمرة جزيئة طولية مفردة بتكثيف المونومرات الواحد تلو الآخر بهدف تصنيع جينة تدون للرنأ ناقلة تيروسينية



(tyrosine transfer RNA) بل قامت باعداد (٣٩) شظية طول كل منها (١٠—١٥) نووتيدة • تم اختيار الشدف بحيث تمتد قطعة قصيرة لاوليغومر من الآخر عند جعل الشظيتين المتامتين تكونان تشبيكة مزدوجة الوهن • وبعد ذلك عمل هذا القسم الممتد كجبيرة يمكن بها تشبيك شظية متصلة للاقتران بدنأ الانزيمة ليغاز او وتراز (enzyme DNA ligase) • بهذه الطريقة ، باضافة اولا وهن واحد ثم آخر تمكن الباحثون من تشييد حامض نوويك مزدوج الوهن كاملا بطول كلي يبلغ (٢٠٧) نووتيدة.

هذه هي الكيفية المحتملة التي ربما جاءت البولي نووتيدات ما قبل الحياتية بها الى الوجود• تدل نتائج التجارب الافتعالية للاحوال التجففية على الارض البدائية ، ولاسيما بوجود مشتقات السيانامید كعوامل تكثيف، على ان اوليغومرات قصيرة تكونت بسرعة من النووتيدات، ولكن لم تتكون اية اوليغومرات طويلة • ومع نشوء تنويعة من الاوليغومرات بفعل تكرار غمر قيعان البحيرات البدائية وجفافها يبدو من المعقول ان يكون قد تم لاحتفاظ انتقائيا بالاوليغومرات التي كان بوسعها أن تشكل اقوى التشبيكات (أي تلك التي تضم ازواجا قاعدية متتامة)• ومتى ما تراكبت الشدف المتجاورة فانها كانت قد اتخذت موضع الاقتران بفعل دورة التجفيف التالية.





الشكل ٥/٢١ ـ مخطط بياني لتمثيل جينة باستخدام بولي نووتيدات التجبير بطريقة خورانا .

الفصل الثاني والعشرون ـ «جسيمات الحياة»

رأينا في الفصول السابقة الطريقة التي كان عقلانيا يمكن للهضميتيدات والبولي نووتيدات ما قبل البيولوجية ان تتكون بها على الارض البدائية . فان تراكما من هذه المكونات الكيميائية تجمع ليهيء الخطوة الختامية، ألا وهي التئام الخلية . ان حوامض النوويك والبروتينات لوحدها لا تملك صفة الحياة، لأنها هامدة أو ستاتية بينما الحياة حركية أو دينامية. فالخلية الحية منظومة عاملة، والانتظام الخاص للجزيئات الضخمة في بنية أكبر تعمل كجهاز ذاتي التحفيز هو الذي يصنع الحياة . وعليه فالوحدة البيولوجية تؤول الى سياق من الاحداث يتم فيها تناول المادة والطاقة لتحويلهما الى مقومات متزايدة التعقيد على التوالي في بنية ذاتية الادامة.

الى هذه المرحلة كانت التجارب المعنية بطرح الامثلة على التصنيع أو التمثيل اللاحياتي للمواد البيولوجية منحصرة في نطاق الاهتمامات الخاصة بالخبراء الكيميائيين. لكن تكون الخلية يرفع نشأة الحياة الى المستوى حيث يكن لكل امرىء أن يشاهدها ككيان ذي خواص المتعضيات المجهرية . فبطريقة ما تمكنت الجزيئات الضخمة التي تكثفت من اللبنات البنائية من الالتئام معا واجتياز العتبة الى الكينونة الحياتية . لقد التحمت في ترتيبة متسقة اتخذت هيئة الخلية الوظيفية . كانت هذه قفزة كمية في الاحداث المفضية الى تكون الحياة، وقد لقيت، بحكم طبيعتها الباهرة، اهتماما خاصا.

جوهريا، جميع المواد تملك خواصا بنيوية تخلق قوى تعاشرية مع مواد أخرى، وتتجمع في تنويعة لا حصر لها من التركيبات اللاشكلية . لكن تراكمات المواد العضوية لا تلتئم رأسا في خلايا وظيفية ، بل تؤول في العموم الى قرارات لا متميزة . فلتشكيل الخلية لابد انه حصل انتقاء للجزيئات لتتراكب معا بكيفية دقيقة وصائبة لتكون الخلية الكلية وظيفية . كانت العقبة

الكؤود ايجاد الطريقة التي سلكتها الطبيعة في جبل المكونات ما قبل البيولوجية في بنية منتظمة تفطرت بهيئة الخلية الحية.

كان الاحتواء الضرورة الابرز في تكون الخلية البدائية . فالمنظومة الحية لا تستطيع الوجود، في حالة السيولة السائبة، انما فقط في التلاحم الوثيق لمكوناتها . كانت الحاجة تمس الى غلاف يضم المقومات معا وبنفس الوقت يتيح الوصول الى البيئة المحيطة لتناول المواد الخام وفسح المجال للانقسام اثناء عملية التكاثر . في الظاهر، لزم أن يكون هذا سطح يعزل مقادير من السوائل ضئيلة للغاية عن كميات الماء المحيطة به. فما هي المواد التي وجدتها الخلية الاولية متوفرة لها في جيولوجيا الارض البدائية لتستخدمها كردائها الخلوي تبرز به من الجماد الى الحياة؟

بعد جيل من اكتشاف شفان (Schwann) ان الخلية هي الوحدة الاساسية الجوهرية للحياة، كان الخبراء عاكفين في المختبرات يحاولون خلق خلية حية من المواد الكيميائية العادية . انما كالسيميائيين القدماء وحلمهم في تحويل المعادن العادية الى ذهب، لم يملك اولئك الباحثون الدراية اللازمة بالكيمياء الاساسية المطلوبة ، وبالنتيجة جرى تصميم نماذج بالاصل لنسخ السلوك البدني الخارجي للخلايا بدلاً من الوظيفية الكيميائية.

في عام ١٨٦٧ أقام الكيميائي الالماني موريتس تراوبة[١] (Moritz Traube) تمكن فيها من تكوين رقائق شبه انفاذية انتشارية من فيروسيانيد النحاس حول بلورات صغيرة من كبريتات النحاس ووضعها في محاليل من فيروسيانيد البوتاسيوم . أبدت هذه الكرات الدقيقة التغمدية بعض ملامح النمو واعتقد تراوبه بأنه يمكن استخدامها لدراسة الخواص الكيميائية البدنية للخلايا .



ومر جيل آخر. ثم في عام ١٨٩٢ قام اوتو بوتشلي[٣] (Otto Bütschli) باعداد نموذج لخلية حية بدلك قطرة من زيت الزيتون بمحلول البوتاس (potash solvation) . تحركت القطيرة الصغيرة المهيجة كيميائيا حول نفسها على نحو مثير والتهمت جسيمات بأسلوب يشبه الاميباء. وقام آخرون بالتوسيع على هذه التجربة وخلقوا نماذج مماثلة قامت بتقليد حركات الخلايا وتمثيل طرائق اقتياتها وانقسامها.

تتوجت هذه الخلايا الكاذبة عند منعطف القرن بالتجارب التي اقامها ستيفان ليدوك[٤] (Stéphane Le Duc) الاستاذ بكلية الطب في نانتس . أقام ليدوك تجربة مماثلة لتجربة تراوبة وضع قطعة من كلوريد الكلسيوم المصهور في محلول مشبع من البوتاس وفوسفات البوتاسيوم. فتكون قيض كروي من فوسفات الكلسيوم وفيما استمر كلوريد الكلسيوم يتفاعل أدى الضغط الارتشاحي في الباطن الى تمدد الكييس ، وتمكن ليدوك بتغيير التركيزات واضافة مواد مختلفة من توليد اشكال انتضاحية رائعة شديدة الشبه بالطحالب والفطر، وأشكال حياتية أخرى، وكان البروفسور شغوفاً بتجاربه لدرجة انه اعتقد بأنه اقتحم آفاق علم جديد واطلق عليه اسم البيولوجيا الاصطناعية (synthetic biology) .

تمادى اتباع بيولوجيا ليدوك الاصطناعية في اقامة التجارب وذهبوا في استنتاجاتهم الى ما يتجاوز ادعاءات المؤسس. كان ذلك عصرا لم يكن تفهم النشاط الاشعاعي فيه قد نضج بعد، واستقبل راديوم مدام كوري كأعجوبة العلم لانقاذ العالم من ويلات الامراض. وباستخدام طاقة الراديوم المحيرة قام مارتن كوكوك[٥] (Martin Cuckuck) بتحويل خليط من الجلاتين والغليسرول والملح الى زرعة من «الخلايا» قيل انها أظهرت جميع ملامح الحياة.



وانقضى جيل آخر قبل امكان ابتكار نموذج واقعي لخلية بدائية، طوال النصف الاول من هذا القرن ظل الاعتقاد سائدا ان كيمياء الخلايا تشبه خواص الغروانيات (colloids)، والغروانية هي حالة خاصة للمادة تكون الجسيمات فيها منتشرة وعالقة في وسط من طور مختلف، ويمكن أن تكون جسيمات صلبة او سائلة عالقة بطور صلب او سائل او غازي. والجسيمات صغيرة بالقياس الى مساحة سطحها الواسعة وتقوم بامتصاص الايونات والمواد الأخرى تسبغ بها خواص فريدة على المنظومة. تؤدي الشحنات الكهربائية بباطن المواد أو من الايونات الممصوصة بالجسيمات الغروانية الى منافرة بعضها البعض والحفاظ على التعلق. ومن المنظومات الغروانية المألوفة هي الدخان والضباب والرهج وايضا الماء العكر.

وبينما هذه الغروانيات هي في العموم مواد لا عضوية تنقصها الألفة للماء وتبقى جسيماتها منتشرة بتنافر شحناتها الكهربائية توجد غروانيات من مركبات عضوية تختلف عن هذه تماما. وهذه هي الغروانيات الاليفة الماء كالجلاتين والالبومين والنشأ التي تبدو انها تذوب في الماء ولكنها لا ترتشح من خلال الغشاء.

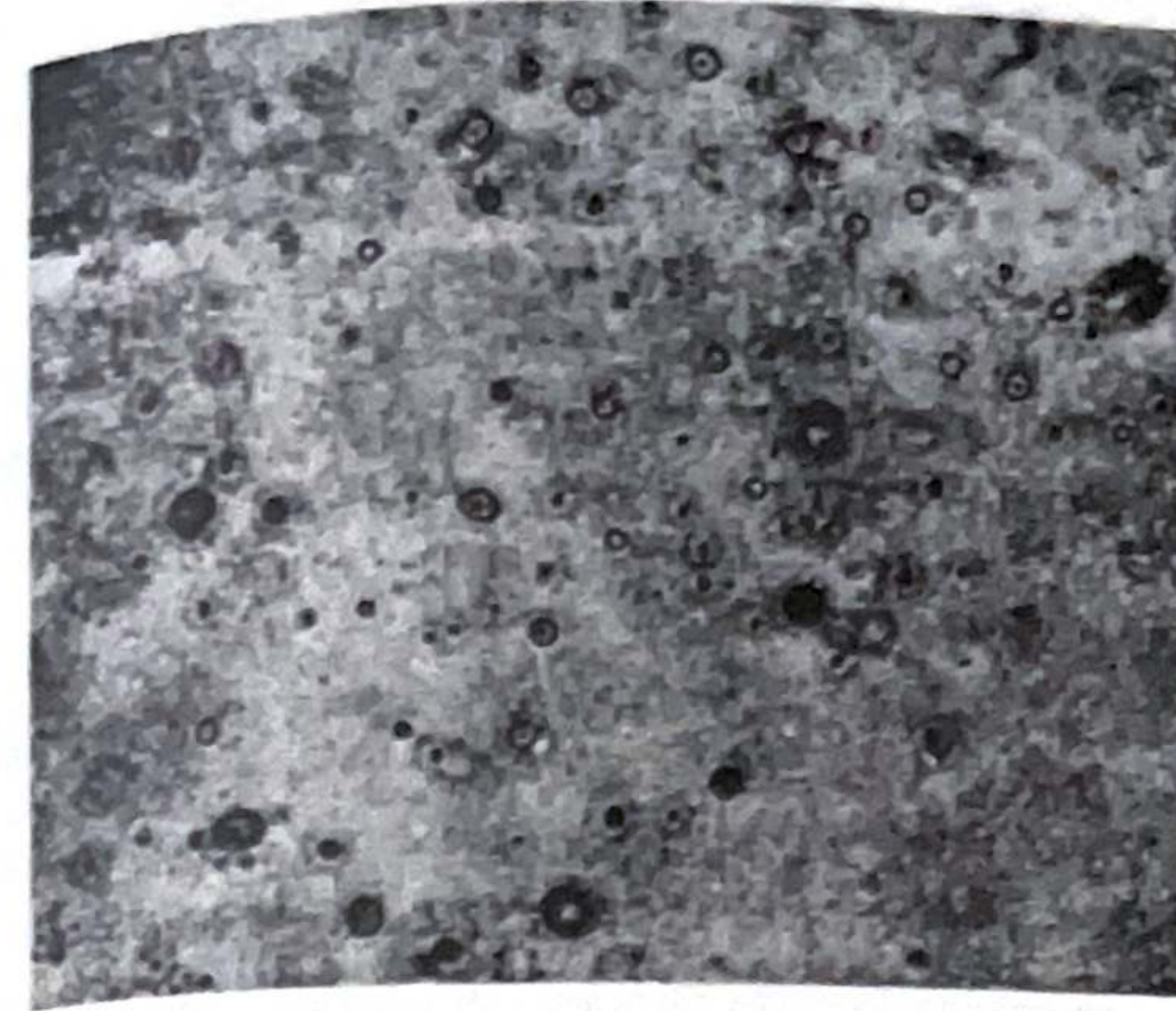
الجزيئات الكبيرة كالبروتينات قابلة للذوبان في الماء لأن ماء التميه أو التميع (hydration) يتجمع بكتل بنيوية حول المجموعات المشحونة والقطبية مستوعبة جزيئات البروتين في اشكالها المتوحدة بفعل التذاوب (solvation) واذا جرى تغيير الاحوال الى حد كبير بالتسخين مع تبديل مستوى ... أو القوة الايونية، أو باضافة مواد كيميائية كاليوريا التي تصدع أو تمزق بنية الماء، تنفض" سلسلة الهضميد منفتحة وتكون لزجة. تتخثر جزيئات البروتين بالتكتل معا وتصبح غير قابلة للذوبان (نزع الطبيعة : denaturation

يمكن عزل الكولاجين (collagen)، وهو البروتين الليفي الموجود في الانسجة الرابطة أو الضامة، وربما أغزر انواع البروتين الحيواني، يمكن عزله كمركب بلوري، ولكنه يتحول الى جلاتين فور نزع طبيعته، فيكون القاعدة الغروانية للاصماغ.

وبما ان بروتينات البلازمة كانت خلال العشرينيات من هذا القرن تعتبر بأنها تتواجد بحالة غروانية فقد ساد الاعتقاد آنذاك بأن الجواب على مسألة نشأة الحياة يكمن في الكشف عن الطريقة التي تمكنت البنية الغروانية بها من القيام من الاحوال الجيولوجية. تنامت المعلومات لمثل هذه التجربة من ظاهرة لوحظت للمرة الاولى في عام ١٩٢٧[٦] وكان هندريك جي بونكنبرغ ديونك (Hendrick G. Bungenberg de Jong) من جامعة لايدن يقوم بدراستها وقدم تقريرا عنها في عام ١٩٣٢.

كان بونكنبرغ ديونك قد لاحظ ان الغروانيات الاليفة الماء كثيرا ما كانت تلقائيا تشكل طورين اثنين. انفصل راسب سائل في المواد الغروانية من طبقة فوقية خالية من الغروانية واحتفظ بالتوازن معها، فأطلق على الطور اسم انعقاد الانفصال (separation coacervation) وعلى الجسيمات الغروانية اسم الانعقادات (coacervates). في بعض الحالات، لم تستقر المادة الغروانية من السائل. انما بقيت معلقة كقطيرات دقيقة في الماء، وبالنتيجة كانت هذه قطيرات من السائل انفصلت من الوسط المحيط بطبقة رقيقة من الغروانيات الاليفة للماء.

وجد البيوكيميائي الروسي اوبارين في دراساته لنشأة الحياة وجه تشابه بين الانعقادات والخلايا الحية، وأورد في الطبعة المنقحة من كتابه والصادرة في عام ١٩٣٦[٨] مقارنة بين هذه القطيرات الغروانية وبين ناتج



الشكل ١/٢٢ - انعقادات تم اعدادها من الجلاتين والصمغ العربي.

عصر البروتوپلازم من خلايا النبات تبين ان بالرغم من القوام السائل للبروتوپلازم فهو لا يختلط بالماء ويبقى كقطيرات صغيرة عائمة في الوسط المائي.

أعد اوپارين اصنافا مختلفة من الانعقادات وأجرى دراسة لخواصها الفيزيائية والكيميائية • في الاحوال المقننة كانت الانعقادات تتكون بسرعة من البروتينات مختلطة مع بوليمرات طبيعية انتقائية أخرى • وعند خلط محلول من الصمغ العربي، وهو بولي سكاريد تجاري من شجرة الاقاقيا، بمحلول من الجلاتين في مستوى (يدس تحت ٨ر٤) حصل الانعقاد • في مستوى (يدس ٨ر٤) وهي نقطة تعادل الجهد الكهربائي للجلاتين (أي تعادل الانيونات والكاتيونات) اصبحت الشحنة في البروتين موجبة بينما بقيت سالبة في الصمغ العربي. التأم البوليمران ذوا الشحنتين المتضادتين وكونا قطيرات من انعقادة شبكية الجلاتين ـ الصمغ العربي. لقد تمكن اوپارين، باختيار مستويات يدس تقع بين نقاط تعادل الجهد الكهربائي للبوليمرات، من تشكيل عدد كبير من الانعقادات ذوات خواص كيميائية مختلفة • كما تسنى ايضا اخذ

انعقادات من الجلاتين وليسيثين البيض (egg lecithin) ، ومن البروتينات القاعدية كالهستون وأحد حوامض النوويك ، وتشكيلات أخرى مماثلة.

أبدى اوپارين انه من الممكن ان تكون ظاهرة الانعقاد هذه قد عملت كآلية بدائية لتكوين الخلية الاولية • ثم ان الانعقادات تملك حدا (boundary) يفصل بين البيئة والوسط المحيط، اضافة الى خواص أخرى تنفرد بها ، كما انها تبدي العديد من الصفات المورفولوجية للمكتنفات الخلوية كالفجوات.

يمكن أن يحصل الانعقاد في محلول مخفف للغاية ، في تركيزات متدنية لا تتجاوز واحد بالالف (٠٠١ر٠٪)[٨]، وتظهر الانعقادات خاصية الغروانيات في قدرتها على امتصاص المواد • كما ظهر ايضا ان الانعقادات المعدة من الصمغ العربي وكبريتات البروتامين (protamine sulfate) تمتص من الوسط المحيط (surrounding medium) حُلالة بكتيرية (bacterial lysate) يتم اغناؤها بأنشطة الكاتالاز (catalase) • وبوسع الانعقادات من الصمغ العربي والهستون أو الجلاتين تركيز الغشاء من المحلول بثلاثة اضعاف ونصف (٥ر٣)• وعندما تكون البيتا اميلاز (B-Amylase) موجودة تتناولها الانعقادة هي ايضا وتقوم الانزيمة بحلمأة النشأ• كما أعلن عن العديد من التجارب الأخرى كانت قد أثبتت ان الانعقادات تعمل كخلايا بدائية[١٠]. وعلى سبيل المثال، ان اضافة اوكسيدو ـ ريداكتاز البكتيري (oxido-reductase) الى خليط انعقاد يتضمن (NADred = ناد مختزل) اسفر عن اختلاق منظومة اكسدة ـ اختزال لا هوائية بسيطة (simple anaerobic oxidation-reduction system) علل اوپارين انه تواجدت على الارض ما قبل البيولوجية مواد بوليمرية قامت بصنع الانعقادات التي كان يمكن أن تعمل بمثابة طلائع للخلايا الحية الاولى • انما في الجوهر جميع التجارب الافتعالية لاظهار خواص

للانعقادات شبيهة بخواص الخلايا كانت تتم باستخدام انعقادات معـدة من بوليمرات بيولوجية مناسبة • ومثل هذه التجارب الافتعالية تكون ذات مغزى فقط اذا كانت قد أجريت بمقومات ما قبل بيولوجية مشروعـة • فضلا عن هذا، ان الطبيعة الغروانية للانعقادات تجعلها سريعة التأثر بتغيرات مستوى بـه وتركيزات الملح• مع ذلك، كانت انعقادات اوپارين ، وبقيت، من الفرضيات العلمية المتقدمة والمعقدة للغاية حول أصل الخلية الاولية•

هناك نماذج أخرى طرحت حول أصل الخلية • في عام ١٩٤٢ قام أي ايل هرارا[١١] (A.L. Herror) باعداد ما أسماه بمنافرات الكبريت أو الكبريتفوبات (sulphobes) باذابة ثيوسيانات الامونيا في الفورمالديهايد ونشر المحلول في طبقة رقيقة • وبعد مرور بضع ساعات اعلن عن مشاهدة بنى مجهرية تبدي أنشطة مماثلة لانشطة المتعضيات الحية • ورأى هيرارا في هـذه الاشكال الدقيقة التنويعات التي تتكون مع الاميبا واشكال الانسجة واعتقد أنه ربما كانت ذات أهمية في افتعال أصل الحياة بقوله ان الاحوال في البراكين كانت تؤدي الى انتاج ثيوسيانات الامونيوم بتفاعل معلوم من الكبريت•

لم يكن حتى ما بعد تجربة ميلر في عام ١٩٥٣ انقام باحثون آخرون بتقديم نماذج من الانتظام الخلوي وما قبل الخلوي• فقد تمكن كارل غرسنباخر (Karl Grossenbacher) وسي أي نايت[١٢] (C.A. Knight) من عزل ليس حوامض امينية فحسب وانما الهضميتيدات ايضا اثناء قيامهما بالبحوث على تجربة الشرارة •ثم اثناء قيامهما بفحص الطبقة الصلبة وعينات من السـائل الكدر المأخوذة من خليط التفاعل ، اكتشفا اجساما دقيقة صلبة تراوحت بالحجم من حوالي (٠ر٠٨ــ٠ر٠٠٥) ميكرومتر واقل • تضمنت هذه الكريات الدقيقة الواقعة في نطاق حجم الفيروسات ، مقادير كبيرة من الفلزات وحـوامض امينية ومركبات مماثلة• لكن الباحثين أبديا ان الكريات كانت سيليكات

ناشئة عن زجاج البـورورسيليكات (borosilcate glass) في جهـاز الشرارة وشككا في ما اذا كانت قد لعبـت دورا في التكـوين الحيوي (biogenesis)

قامت جماعة من الباحثين في رومانيا بتحري امكانية تكون مركبـات عضوية من جو بدائي في ظروف مختلفة ، وتنـاول سيميونسكـو ودينس وماكوفو[١٣] (Simionescu, Dénes, Macoveau) تكون مركبات ما قبل حياتية بالتفريغ الكهربائي في احوال البلازمة الباردة معدلة ما بين درجة حـرارة (+٢٠ و-٦٠°) مئوية ، ووجدوا ، في تجارب افتعالية لهذه الاحوال أن خليطا من الميثان والامونيا وبخار الماء أدى الى تكون بنى عضوية متطورة من مواد بولي هضميتيدات معقدة شوهدت تحت المجهر متكثفة في المادة الليفية (fibrillar) في ترتيبة مستديرة او متشعبة•

ان جعل تجربـة ميلر الفـورمالديهـايـد والثيـوسيـانـات (formaldehyde and thiocyanate) مواد ما قبل حيوية معقولة الاحتمال ظاهريا أضفى سدادية جديـدة على بنى الكبريتفوب (sulphobe) التي كان هيرارا قد حصل عليها في تجربته • فقام ادولف سميث (Adolph Smith) من جـامعة سير جورج ويليامز بمونتريال مع جيه جيـه سيلفر (J.J. Silver) وغـاري ستاينمان[١٤] (Gary Steinman) من جامعة بنسلفانيا الحكومية باعادة تحري ادعاء هيرارا برؤية اشكال شبه حياتية في خليط تفـاعله ، واكتشف هؤلاء الباحثون عند قيامهم بخلط ثيوسيانات الامونيوم والفورمالديهايد ان المحلول العديم اللون تخضب بالاحمر قليلا خلال ثوان وآل الى اصفر ذهبي في النهاية بعد انقضاء ساعة واحدة• كشف الفحص المجهري عن وجود كثافة عالية من الكرات أو الحمصات تتراوح اقطارهـا ما بين (١ـ٥) ميكـرومتر طولا• وكشفت تجارب اضافية عن ان الضوء ما فوق البنفسجي ينفق التفـاعل ،

وعند اضافة كلوريد الزنك الى خليط التفاعل اندمج الزنك في البنى مضفيا عليها نشاطا شبه أتباز محلي (localised ATPaselike activity) كان رأي الكيميائي ان هذه التجارب دللت بوضوح كيف كان يمكن لمواد كيميائية بسيطة يعتقد انها تواجدت على الارض البدائية أن تكون قد شملت أو تدخلت في تكوين بنى مثل الخلايا قبل تواجد اية خلايا حية.

ونموذج آخر للانتظام ما قبل الخلوي الذي قد حظي بترويج كبيرهو الكرات المتكونة من البوليمرات الحرارية للحوامض الامينية التي حصل عليها سيدني فوكس ومعاونوه في تجربتهم • في عام ١٩٥٩ أعلن فوكس وهارادا وجيه كيندرك[١٥] (J. Kendrick) ان المحاليل الحارة المشبعة من شبه البروتينات الحامضية (acidic protenoid) اعطت عند تبريدها اعدادا كبيرةمن كريات مجهرية متوحدة متسقة • كانت هذه البنى الكرية المسماة بشبه البروتينات الكرية المجهرية (proteinoid microspheres) ذوات اقطار تتراوح اطوالها في العموم ما بين (٥ر١—٣) ميكرومتر وتكونت بسرعة وسهولة من شبه البروتين الحامضي• انما شبه البروتينات القاعدية (basic proteinoids) من جهة أخرى، لم تكون اعتياديا اية كريات مجهرية ما عدا عند خلطها بشبه البروتينات الحامضية • أعطت الكريات المجهرية المحتوية على شبه البروتينات القاعدية لوثة غرام موجبة (positive Gram stain) • اما تلك المعدة من شبه البروتينات الحامضية فانها تقبلت اللوثة ولكنها كانت سالبة، واعتبرت هذه الملاحظة كدلالة على اوجه الشبه في التركيبة السطحية في الكريات المجهرية شبه البروتينية والبكتيريا[١٦].



الشكل ٢/٢٢ — كريات مجهرية تكونت من الحامض الاميني الحامضي •

كما هي الحال مع أغلب هذه النماذج الفيزيائية للخلايا بوسع الكريات أن تلتئم وتنقسم، وبوسع الافراد الاصغر بينها الالتصاق بأترابها الاكبر • وقد أشير الى هذه الظاهرة الاخيرة باعتبارها (تبرعم budding) بناء على تماثلها بالمتعضيات المجهرية الحية • أعلن فوكس وجماعته ان عند ازالة هذه الكريات الاصغر بالصدم الميكانيكي أو الحراري أو الكهربائي وتجميعها بعملية الفرز المركزي (centrifugation) لاحظوا انها تنمو في الحجم عند وضعها في محلول شبه بروتيني مشبع بدرجة حرارة (٣٧°) مئوية[١٧]. كما ان اجراء التغييرات في أحوال المحلول حمل هذه الكريات المجهرية على مكابدة تغييرات مورفولوجية مختلفة مفتعلة تناسخ الخلايا • وعلى الاجمال قد تم عزو خمس كيفيات تكاثر الى هذه الكريات اللابيولوجية.

مثل ليدوك (Le Duc) وكيسانه الارتشاحية قبل سبعين عاما خلت، حاول فوكس أن ينسب جميع الظواهر الفيزيائية «الفقاعية» أو الزائلة الى خواص الخلايا الحية . يمكن بوضع ضغط ضئيل على هذه الكريات المجهرية جعلها تتجمع في سلاسل مثل الطحالب[١٨]، وعندما التحمت هذه الكريات وحصل تبادل المادة الحبيبة فيها سميت هذه الظاهرة «بالتواصل»[١٩]. أما التفسير الاحدث لعملية الاقتران او «التزاوج» بين هذه الكريات المجهرية فهو «التناسل البدائي»[٢٠].

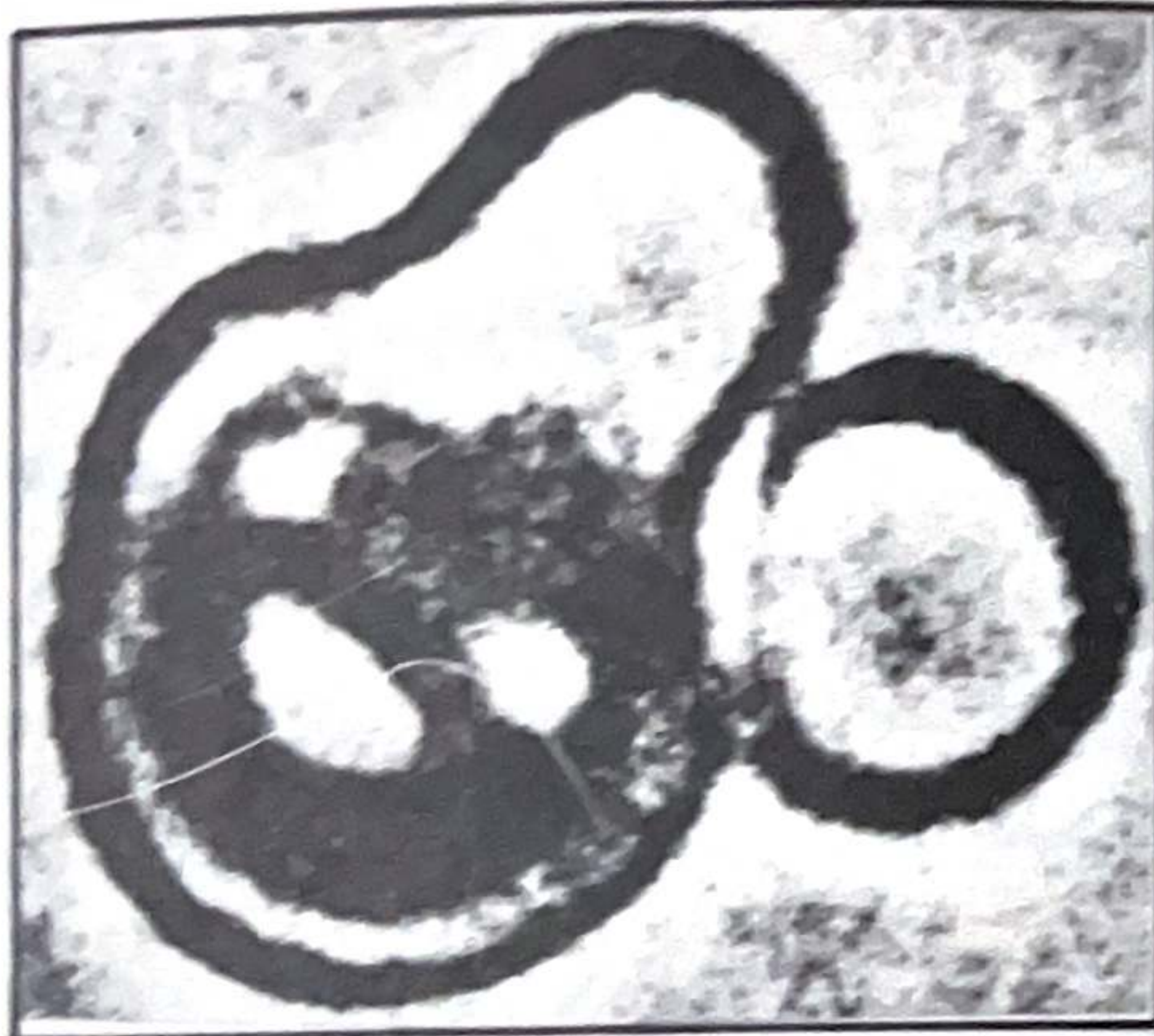
انه من الصعب رؤية تواجد اية علاقة تطابق لاشباه البروتينات اوكرياتها المجهرية بأصل الحياة، وكما اشار جيه دي برنال (J.D. Bernal) : « تتجمع هذه الكريات او الحويصلات عادة بالبلمرة اللانظامية أو المتفرعة التسلسل، كما في حبيبات النشاء، ولا تؤدي بفعالية الى بلور وانما تشكل التئاما من كريات جاسئة أو لدنة حول النوى، وأي تشابه بالمتعضيات ، مثل حصول ازدواج كرتين كدلالة على الانقسام ، ربما هو عفوي من باب الصدفة،[٢١] وبالنتيجة فان بحث فوكس يعكس رجوعا الى الاسلوب القديم للتجارب حول نشأة الحياة والتي كان يستهدف اقامة نماذج تقليدية لاشكال الحياة البدائية.

بقينا ان الكريات المجهرية تمثل دلالة اضافية على ان البلمرة الحرارية للحوامض الامينية لا يفضي الى بلمرة جانبية تشبه البروتينات الطبيعية . واذا اعتبر المرء اشباه البروتينات الحامضية بكونها اصلا بنى لحامض البولي اسبرتيك يصبح الترابط ما بين الجزيئي يسير التفسير . تملك حوامض الكربوزيليك (carboxylic acids) نزعة شديدة لازدواج صيغها الجزيئية بالارتفاق بواسطة مجموعاتها الكربوكسيلية . وبنفس الاسلوب تكون مجموعات حامض الاسبرتيك الجانبية في شبه البروتين اربطة بين جزيئة

مع بعضها في جزيئات متجاورة . وهذا متماش مع حقيقة ان الكريات المجهرية تتفكك في مستوى pH فوق (٦) بسبب تآين مجموعات الكربوكسيل.

بتغيير تركيز الملح يمكن جعل الكريات المجهرية تنتفخ وتنكمش، وهي خاصية اقترح انها مماثلة لتلك التي تبديها الخلايا عند تعرضها الى تغيير في الضغط الارتشاحي على غشائها شبه الانفاذي الانتشاري (semi-permeable)[٣٢].

ولما كان قد ثبت ان الكريات المجهرية شديدة الترشح او الانتضاح ولا يمكن ان تقوم مقام الغشاء[٣٣]، فانه يتعذر عزو الانتفاخ والانكماش الى الضغط الارتشاحي وانما بكل وضوح يتأتى من عمل شبه البروتين بصفة بوليمر مشحون على غرار داوبكس ٥٠ (Dowex 50)[٣٤] . ان البوليمرات التي تتضمن مجموعات وظيفية قابلة للتآين، مثل $(-NH-\,,\ -C(=O)OH)$ تنكمش او تنتفخ في تركيزات ملح مختلفة بسبب التغير الحاصل في عدد الشحنات على البوليمر. فالتركيزات العالية من الملح تسبب الانكماش بالانجذاب الكهروستاتي للبوليمر المشحون الى الايون المضاد، وتستخدم مثل هذه البوليمرات عادة في المختبر كمبادلات ايونية (ion exchangers)



الشكل ٣/٢٢ ـ جسيمة جيوانو تبين «التبرعم» .

لقد جرت احالة ما يقرب من اربع وعشرين خاصية للبروتينات الى البوليمرات الحرارية للحوامض الامينية[٢٥]. تعتبر «محدودية اللاتجانسية limited heterogeneity واللاعشوائية (nonrandomness) لتركيبة اشباه البروتين كدلالة مؤيدة لامكانية تحقيق بلمرة مشاركة (copolymerication) للحوامض الامينية في سياقات تشبه البروتينات. غير انهذا مناف للسلوك الفيزيوكيميائي للبروتينات . فالبروتينات والبولي هضميتيدات لا تكوّن كريات مجهرية . وحتى البروتينات المنزوعة الطبيعة ، كمثل اغلاء بيضة ، لا تتكور في كريات مجهرية، بل تتخثر او تتروّب بالطريقة المألوفة.

كما ان جهودا مماثلة لخلق نماذج للخلية البدائية قد اولت اهتماما أكبر للشكلية الاجمالية مما للوظيفية الكيميائية . فقد قام كريشنابهادور[٢٦] (Krishna Bahadur) من جامعة الله آباد بالهند في عام ١٩٥٤ باعداد كريات مجهرية بتعريض بارافورمالديهايد والماء واوكسيد الموليبدينوم الغرواني لاشعاع الضوء المرئي . وزعم ان هذه الكريات المجهرية ملكت القدرة على النمو والانقسام والانشطة التأيضية. كما قام بهادور باعداد كريات مجهرية بلمرة الحوامض الامينية حراريا وأسماها جيوانو (Jeewanu) وهي الكلمة السنسكريتية التي تعني «جسيمات الحياة»[٢٧].

ان التعليل المطروح من اوپارين وفوكس وآخرين لنماذجهم هو ان الخلية الحية كانت قد سبقتها منظومة كانت تملك الخواص المورفولوجية الشبيهة بالخلايا ولكنها لم تكن حية بعد. على ما يظهر ان انعقادات اوپارين اصبحت حييات بدائية اولية[٢٨] (protobionts) والكريات المجهرية لفوكس خلايا بدائية اولية[٢٩] (proto cells). ثم على ما يزعم ان هذه البنى مرت بفترة من التطور تغيرت فيها الى ان نشأت بشكل الخلايا الحية الاولى . لكن كيفما يتأمل المرء هذا لا يسعه الا اعتباره هراءً علمياً. فالنشوء الارتقائي هو عملية التطور البيولوجية من خلال التبدل الطفري والتكاثر والانتقاء وهذه

النماذج الكذب خلوية ، مثل الصلصال ، او فقاعات الصابون ، أو غيرها من الجماد ،لا تملك الآلية ولا القدرة الكامنة لتصبح غير ما هي ليس الا.

فقدت هذه النماذج للخلايا الحية قيمتها العلمية بالاقلاع عن وظيفة الغشاء الخلوي للتشديد على التشابهات المورفولوجية الباهرة . كانت فرضية الانعقادات قد اقيمت في عصر بدت فيه الكيمياء الغروانية بأنها اساس الحياة، ونشأت شبه البروتينات من محاولة فاشلة لتمثيل او تصنيع بروتينة لا حياتية او مادة شبه بروتينية بعملية بسيطة ، لقد حملت كلتا الفرضيتين فوق وسعهما في محاولة لاشتمال دور المحرك الاولي في أصل الحياة بالرغم من خطوات التقدم الهائلة التي تحققت في البيولوجيا الجزيئية وكيمياء الغشاء والتي كشفت ان المبادىء الكيميائية التي تم اشتقاقها منها لم تمت بصلة الى كيمياء المنظومات البيولوجية.

ان المسألة الراهنة هي ما هي القوى التي تسببت في تجمع والتئام البوليمرات ما قبل البيولوجية . ان القوة الرئيسة الرابطة في الانعقادات هي التجاذب الكهروستاتي بين البوليمرات المموهة ، وتكوّن الكريات المجهرية يتوقف في الاساس على نفس التفاعل . في العموم يجري اعداد الانعقادات من المركبات البيولوجية ، أما الكريات المجهرية فيتم اعدادها من المركبات اللابيولوجية . وقد اقتضى تبرير وقوع الاولى على الارض ما قبل الحياتية ، بينما ليست الثانية سوى مواد ردب يستبعد ان تقوم خلية وظيفية حية.

لكن الخطأ الاكثر فداحة في النماذج المبنية على جسيمات متسكة معا بقوى ايونية هو انها كانت لتكون على الدوام مهددة بخطر الانحلال . فالانعقادات شديدة اللااستقرارية ، والكريات المجهرية تتواجد فقط في محاليل مشبعة، وتواجدهما في البحار او البحيرات الاركية كان ليكون قصير العمر للغاية.

الفصل الثالث والعشرون ـ الغلاف الحيوي

حصل شيء ما في نقطة ما على الارض البدائيـة ، شيء كان عاديـا وتلقائيا في المراحل المتطورة الى منظومة بيولوجية سجلت بداية الحياة . فقد كان من تلك اللحظة فصاعدا ان تحولت بعض الهضميتيدات والبولي نووتيدات ومواد متنوعة متوافقة من مجرد مواد كيميائية الى مواد بيوكيميائية ملتئمة بكيفية آلت بها الى خلية حية . فماذا كانت طبيعة تلك الخطوة الختامية؟ حتما انها كانت أكثر من تولد جسيمات كروية بشعة لا صلة لها جوهريا بالمنظومات البيولوجية ، ولابد بالاحرى انها كانت عملية ادخلت خاصية جوهرية في تنظيمة المادة تميز بها الخلية الحية . ذلك الحدث الخطير الذي اصبح اللحظة التي بدأت فيها الحياة كان انغماد تجمع من الجزيئات الذاتية الاتساخ في غشاء خلوي شبه انفاذي انتشاري.

أصبحت الخلية الحية تفاعلا خاصا من المادة وسيطا بين مواد مرتبطـة ارتباطا وثيقا بأربطة وجزيئات متساوية التكافؤ في محلول سـائب . وليتم الافصاح عن بنية البولي نووتيدات من خلال التناسخ والترجمة تحتم عليهـا وعلى مقوماتها الانحباس في تجاور وثيق ومع ذلك بدرجة من الحرية يتسنى لها معها التحرك والتفاعل . ولهذا الغرض مست حاجة الخلية الى غمد كانف يملك جميع الخواص الفيزيائية لفصل الخلية عن البيئة المحيطة مع اتـاحة المجال لها لتناول المواد الاولية والطاقة ، وبهذه الطريقة تمكنت الخليـة من ادامة احتياطي من الطاقة بالنسبة الى المحيط ليدفع آليتها الخلوية.

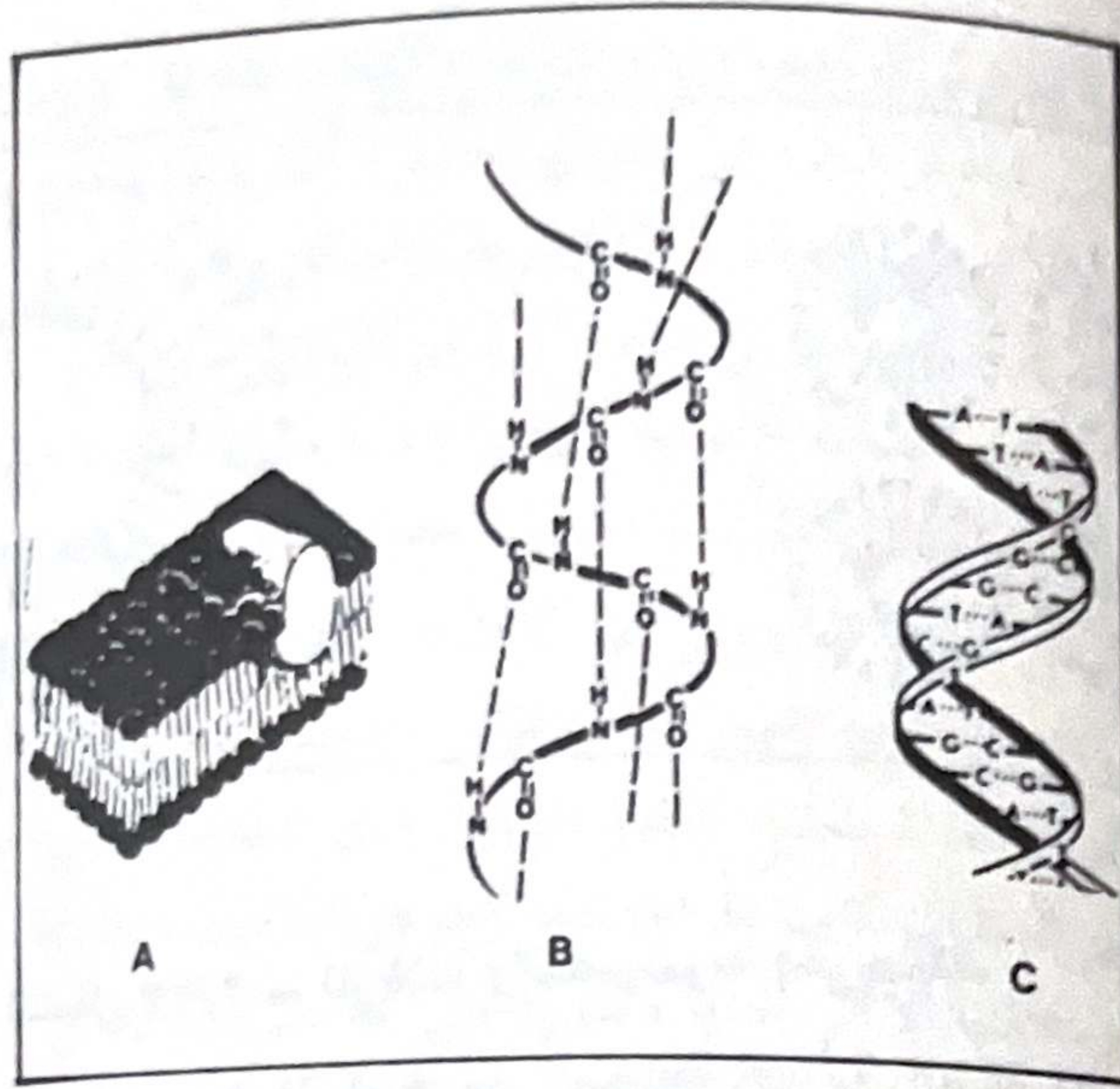
اقتضى أن يكون الغلاف الحاوي منيع النفاذ للمكونات الخلوية انما يملك القدرة على اتاحة تسرب جزيئات دقيقة ، واقتضى ان يكون مرنـا مطاوعا للاتساع والانقسام انما يتماسك ببعضه تلقائيا ، واقتضى أن يكون

مقاوما للذوبان في المحاليل المذوقة وعلى نطاق واسع من مستويات واقتضى ان يكون متركبا من مواد كيميائية بسيطة تستطم معا ذاتيا في باطن شكلية الغلاف الثنائية البعد شبه السائلة • وتوفرت كل هـذه الشروط في الغشاء الدهني الثنائي الجزيء•

ان الغشاء الثنائي الطبقة الدهني مثال للبساطة يتكون تلقائيا ويؤلف السمة البنيوية العامة الجامعة لجميع الكائنات الحية قاطبة ، وهو موجود لدى كل خلية ، بما فيها اصغر المتعضيات المجهرية الطليقة العيش • هذه الطبقة الثنائية الدهنية جوهرية الضرورة لدرجة انها تأتي في مصـاف لولب ألفا للبروتينات واللولب المزدوج للدنأ (DNA) في تمثيل البنى الاساسية الثلاث للمنظومات البيولوجية • وأهمية الغشاء الدهني واضحـة من الحقيقة أنه كلما تزايدت المتعضيات في التعقيد كلما ازداد اتساع عدد البنى الخلويـة المحتوية على الاغشية •

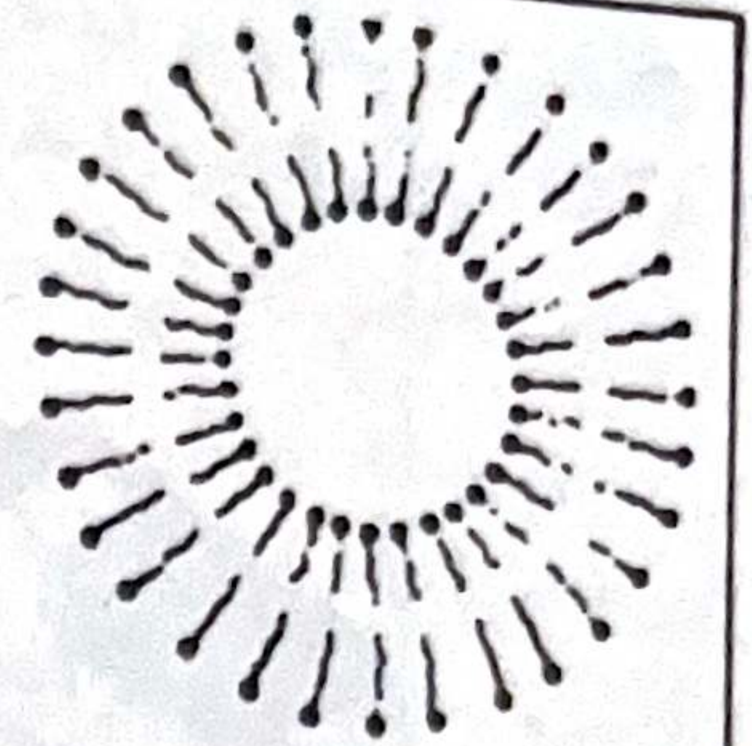
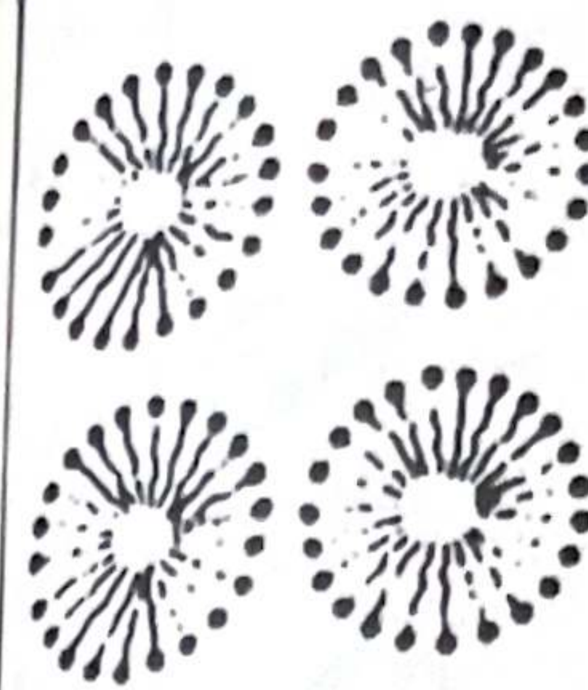
تباين تركيـة الدهنيات في أغشية الخلايا المعاصرة الى حد كبير ، انما في العموم يتألف الغشاء بالتقرب من نصف بروتين ونصف دهني مع كـون الدهنيات في الاغلب فوسفودهنيات• وهذه المركبات الاخيرة تمثل مسلسلاً من المشتقات الحامضية الدهنية من حـامض الغليسروفوسفوريك التي تتبـاين بالمكون الجزيئي الصغير المرتبط بمجموعة الفوسفات•

بما ان الماء ينافر السلسلة الهيدروكربونية للبدائل الحامضية الدهنية ، بينما النهاية الفوسفاتية للجزيئة قطبية وقابلة الذوبان في الماء، تأتي الدهنيات في فئة من الكيميائيات تتراصف بين طورين فيزيائيين• ففي المـاء تنـدفع الفوسفودهنيات الى بعضها البعض معا بحجب سلاسل البرافين من الماء في تجمعات كصفائح من الجزيئات مع النهايات القطبية ممتدة في الماء• كطبقـة



الشكل ١/٢٣ ـ الوحدات البنيوية الاساسيـة للمنظومـات البيولوجيـة .
ا ـ الغشاء الثنائي الطبقـة الدهني • ب ـ اللفيفـة اللولبيـة للبروتينات• ج ـ االولب المزدوج للحوامض النوويك.

سطحية يتألف التجمع من طبقة أحادية الجزيئات في الفاصل البيني بين الهواء ـ الماء مع السـلاسل الهيدروكربونية موجهة الى الخارج بعيدا عن الماء• غير انه تحت السطح ومحاطة بالماء تشكل الفوسفودهنيات اشكالا كروية مع سلاسـل الهيدروكربون مندمجة بعضها بالبعض• فاذا دمجت طبقة مفردة من جزيئات الفوسفودهنيات سلاسلها الهيدروكربونية لتشكل كرة ، ينجم عن هـذا ما يسمى بالمذيلة (Micelle) ، انما اذا خلقت طبقة ثنائية الجزيئات تحويطة او مكتنفا كرويا enclosure فالناتج يكون دهنوسومة (liposome) ، أوحويصلة أو بويصلة (vesicle) اذا كانت الاشارة الى مكونات بيولوجية • والحويصلة هي التي تمثل السمة الخلوية الشائعة الكلية لجميع الحياة على الارض•

الشكل ٢/٢٣ – المزيلات والدهنوسومة (حويصلة).

تخلق الدهنوسومة المتكونة من الصفيحة الثنائية الطبقة المغلقة حالة الخلية الحية حيث يمكن ادامة البيئة الباطنية في تركيبة كيميائية وكمين من الطاقة مختلفين عن الوسط المحيط، ولا تستطيع الآلية التكاثرية والتآيضية للخلية الاشتغال ما لم تكن المـواد المنخفضـة الوزن الجزيئي، والتي تمثل الطبقات السفلية والطلائع للتمثيل الحيوي، محفوظة بضمن غشاء. وهـذه الاغشية المزدوجة الدهنية مع نهاياتها المائية الجنوح موجهة الى الخارج هي حواجز مستقرة ضمنيا لمنع فقدان مقومات خلوية ثمينة وللحفاظ على مدرج التركيز الجوهري الضرورة للمنظومة البيولوجية .

يتحتم على الغشاء أن يعزل الخلية عن بيئتها، ولكن ليس كليا ، اذ انه يلزم توفر المجال لدخول الاغذية الى الخلية ولطرد الفضلات التلف التآيضية. والغشاء الخلوي في العموم نضوح للماء والمواد القابلة الذوبان في الدهنيات، ولكنه يدخل فقط المركبات العضوية القابلة للذوبان والتي تحتوي على لا أكثر من ثلاث الى خمس ذرات كاربون، يعتمد اختراق الايونات على عددالشحنات

الكهربائية للايون الواحد، ويبدو ان النوع المتعدد التكافؤ كأيونات الكلسيوم والكبريتات شديد البطء في اختراق الخلايا . كما يوجد حاجز مانع للشحنة الموجبة، والانيونات الصغيرة كالكلوريد والبيكاربونات تخترق غشاء خلايا الدم الحمراء أسرع بحوالي مليون مرة من الكاتيونـات من ذات الحجم. وهذه الانتقائية للشحنة الايونية ، وهي خاصية مميزة للغشاء الخلوي، تظهر ايضا في دهنوسومات الفوسفودهنيات بعدة اضعاف حجمية[1].

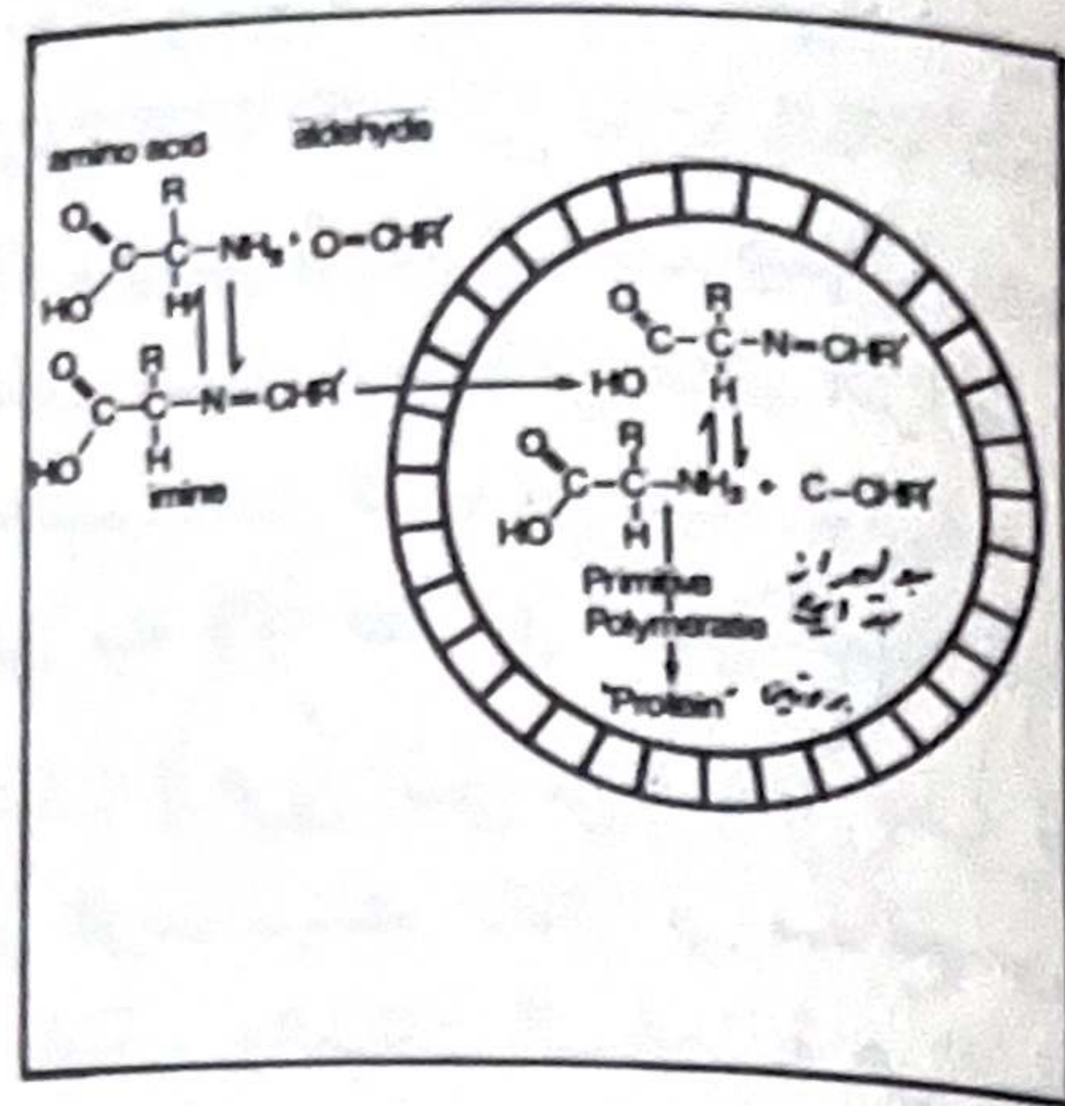
يتضمن الجزء البروتيني في الاغشية الخلويـة المعـاصرة انزيمـات وجزيئات نوعية أخرى تقوم بتأدية وظائف للمتعضيات المعاصرة كانت لتكون متقدمة فوق العادة للغشاء الغامد البسيط لدى الخلايا البدائية . غير انـه توجد بعض العمليات كانت نظرا لصفتها الجوهرية لتكون مشتركة لدى الخلايا البدائية وسلالتها الاكثر تقدما وتطورا على حد سواء. بالاصل كانت الجميع يقتضي بها ان تستجلب الى الخلية من خلال الحاجز الدهني مواد الاقتيات من خارج الوسط لتغذية نموها.

ان العديد من المواد ذوات الاهمية كالسكاكر ، والحوامض الامينية والنوويتيدات ليست قابلة للذوبان في الدهنية وتتجاوز حدود حجم النفـاذ، ولكنها مع ذلك تخترق الاغشية الخلوية بسهولة ، ويعتقد ان الخلايا المعاصرة تملك آلية نقل خاصة لأخذ هذه المواد الجوهرية عبر الحاجز الدهني. ولما كان جهاز النقل النشيط هذا يبدو مشيدا من بروتينات خاصة في الغشاء فانه نظرا لشدة تطوره ما كان ليكون متوفرا لدى الخلايا البدائية . اذن كيف كان ليتسنى للمكونات الحيوية ان تعبر طبقة الدهنية لامداد الخلية البدائية بالغذاء من الوسط الخارجي؟

لابد انه تواجدت آلية بسيطة من نوع ما توفرت للحويصلة الدهنيـة

وتمكنت الخلية بها من مراكمة جزيئـات صغيرة قابلة للذوبان بالماء. اقترح ويليام ستيلويل[٢] (William Stillwell) آلية كان يمكن ان تعمل كجهاز نقل بدائي لانفاذ الحوامض الامينية، والسكاكر، والنووتيدات، عبر الغشاء الدهني للخلايا الاولية . عندما تتكثف الحوامض الامينية مع الالديهايدات البسيطة القابلة للذوبان بالماء تتمكن الايمينات (imines) الناجمة عنها من الانتفاذ من خلال الحاجز الدهني . وما ان يصبح في باطن الخليـة يؤدي تفكك الايمين (imine) الى تحرير الحامض الاميني فيحتفظ الغشاء به، بينما يعبر الالديهايد، القادر على الانتشار عبر الغشاء، الى خارج الخلية مرة اخرى. وعلى نفس الغرار كان بامكان السكاكر أن تنتفذ من خلال الغشاء مكثفة مع الامينات[٣] (amines)، وكان بامكان النووتيدات أن تخترق الى باطن الحويصلة الدهنية كشبائك الايون المعدني الاحادي والثنائي التكافؤ[٤]. ويعتبر هذا الصنف من الانفاذ الانتشاري (diffusion) منجزا بالواسطة الحاملة (carrier mediated) ولما كان لا يستلزم بروتينات نقل معقدة ، فمن الممكن انه كان جهاز نقل ذا أهمية لدى الخلايا البدائية.

يمتلك الغشاء الثنائي الطبقة الدهني خاصية اضافية فريـدة للخليـة الناشئة ولا يسعها الاستغناء عنها .فهو يضفي على الخلية قدرتها على عـزل الشحنة الكهربائية . جميع أغشية الخلايا الحيـة تبدي اختلافا في الجهـد الكهربائي الكامن (electrical potential) في جانبي الغشـاء. فانـه ليتسنى امتصاص فوتونات ضوء الشمس وترحيل الطاقة بجهاز نقل الالكترون لتمثيل الأتب ATP، فانه يلـزم أن تكون سلسلة حامـلات الالكترون معـزولة لتفادي التقصير الدائري (short circuiting). والغشاء الدهني لوحده فقط يمتلك السمات الرقيقة العازلة اللازمة للعمل كمكثف معزول (capacitor) بيوكيميائي.



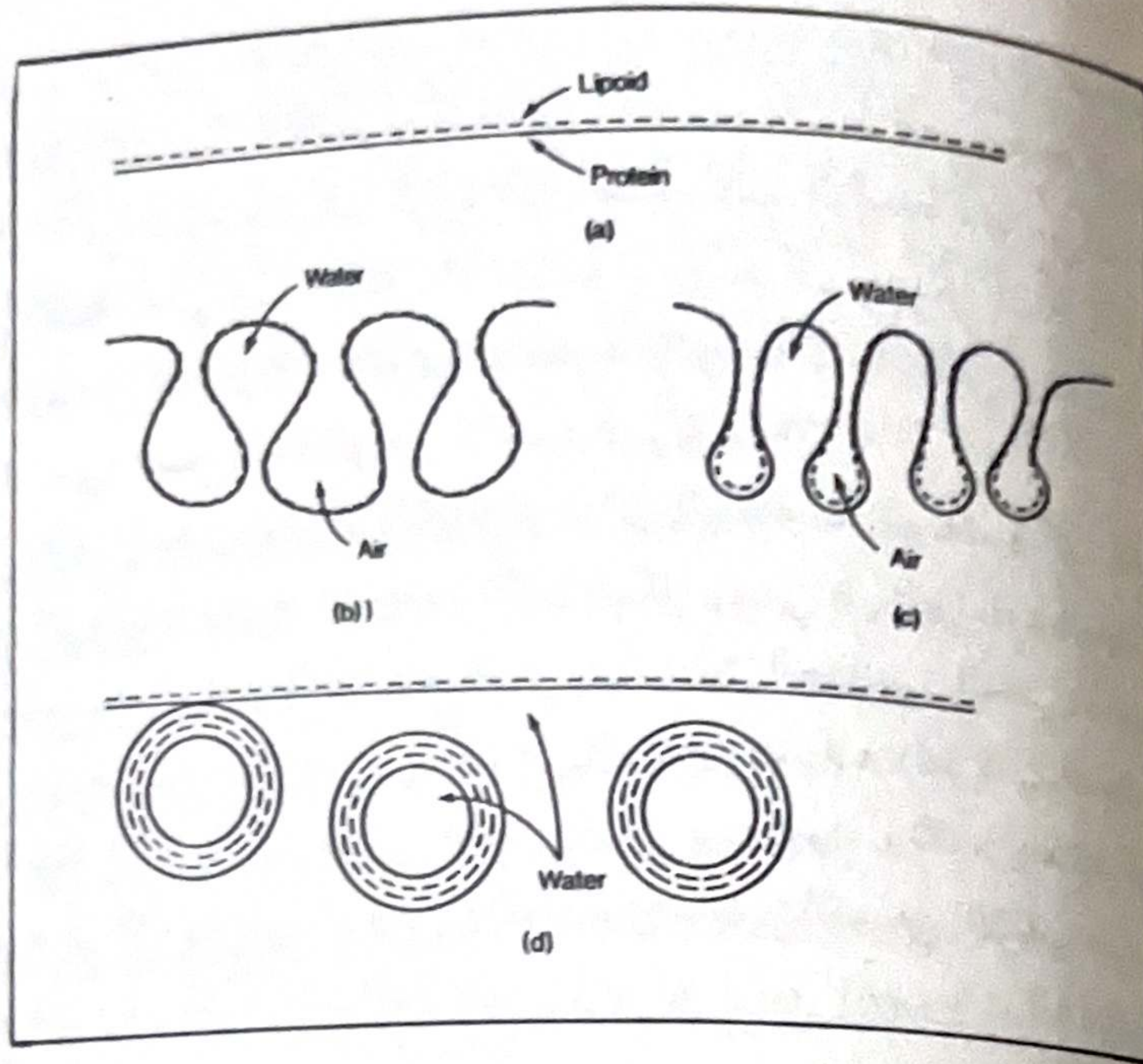
الشكل ٣/٢٣ – رسم بياني يوضح المأخذ الالديهـايدي الواسطـة للحوامض الامينية الى باطن الحويصلة الدهنية.

يبدو ان الحويصلة الدهنية هي النموذج الوحيـد لغشـاء الخليـة البدائية الذي يقوم بأداء جميع المتطلبات البيولوجية . امـا الانعقـادات، والكريات المجهرية شبه البروتينية ، وجسيمات جيوانو، والكريات اللاعضوية، كلها لا تملك جميع الخواص الحيوية التي يملكها الغشاء الثنـائي الطبقـة الدهني. فهي اكثر نضوحا من ان تستطيع حفظ المـواد الصغيرة الاوزان الجزيئية ، وأسمك وأكثر موصولية من ان تعمل كعازلات، وجميعها تعجز عن مطابقة شروط مبدأ الاستمرارية ، وهذا هو التعميم الذي يستوجب على كل مرحلة من التطور ان تأتي كتتمة متصلة للمرحلة التي سبقتها . وقد بذلت جهود لدمج الخواص الجوهرية للغشاء الدهني في الانعقادات والكريـات المجهرية لكن الهدف يتعرض للارتياب . فلا الانعقادات ولا اشباه البروتينات تملك أي دور في المنظومات البيولوجية ، ولا يوجد أي دليل على ان ايا منها كان يملك هذه الخاصية قط. من جهة أخرى، يبدو ان الغشاء الثنائي الطبقة الدهني كان الغلاف الحيوي منذ بداية الحياة.

كان اختلاف المنظومة البيولوجية نتيجة تجارب المواد الطبيعية للتفاعلات التلقائية ، وقد وجد ان لبنات البناء كانت بنى معززة بالطاقة تنجت عن التفاعل بين الطاقة الشديدة والمادة ، وبلمرتها تتبع تفاعلات كيميائية معينة في أحوال ارضية عادية . فالنووتيدات تشكل ازواجا من خلال الترابط الهيدروجيني للتناسخ، وتلف البولي هضيبيدات نفسها في لفيفة لولبية ، وهكذا ايضا تتجمع الدهنيات تلقائيا في بيئة مائية لتشكيل اساس الغشاء الخلوي.

تتضح تلقائية الدهنيات لتكوين البنى من اسقاط قطرة من الزيت في الماء، وحتى قدر دقيق من الزيت سينتشر تلقائيا في صفائح من الجزيئات المتراصفة ويشكل طبقة رقيقة . والطبقات السطحيــة هي طبقات احادية الجزيئة تتكون في الفاصل البيني للماء والهواء، بينما في حجم مائي بدون فاصل بيني تقوم الدهنيات بما مؤداه خلق فاصلهــا البيني الذاتي بابقاء نهاياتها القطبية متجهة نحو الماء بينما توجه ارفالها اللاقطبيــة للتجمع معا. فاذا تكونت كرة تضم ماء تكون النتيجة تحويطة غشائية ثنائية الطبقة ، أي حويصلة.

هذه سمة عادية للطبيعة كان أول من أبان اهميتها لأصل الحيــاة ريج كولديكر[٥] (Reg Goldacre) من معهد بحوث چستر بيتي بلندن . في عــام ١٩٥٨ نشر كولديكر ورقة حول الرقائق او الطبقات السطحية (surface films) كان قد لاحظ شيوعها في جميع البحيرات والانهـر والجداول . توجد رقيقة (film) مرنة على أسطح جميع التجمعات المائية قلما تبدو للعيان الا اذا كانت مفعمة بالغبار أو جرى فحصها بعناية ، وهذه تبدو جـزءا من البيئة الطبيعية ، تأكلها الدعاميص ، وتزحف البزاقات منقلبة على سطحها السفلي، ويمكن رؤية مفصليات صغيرة مستندة عليها اثنــاء تنطنطهــا على السطح. وهذه رقيقة جزيئية ليس من الزيت وانما ربما من الدهنوبروتينات (lipoproteins) واوراق النبات واللقاح أو الطلع وغيرها من المواد المتساقطة في الماء.

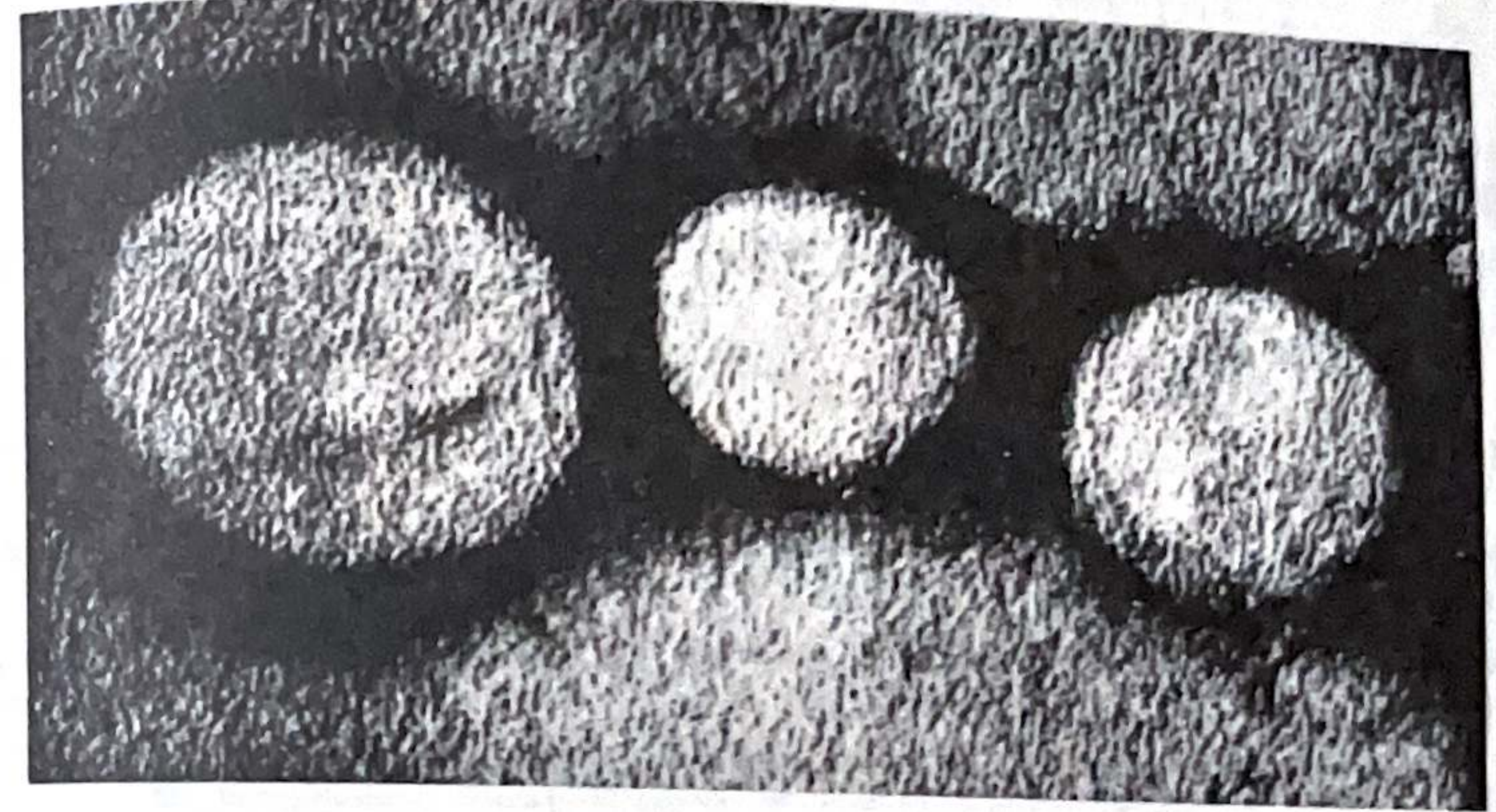


الشكل ٤/٢٣ – نموذج مقترح لتكون الحويصلات الثنائية الطور على الرقائق السطحية بفعل الموج.

عند قبض او كبس الرقيقة بتضييق المساحة السطحية ، كما يحصل عند تحول المجرى فجأة من الضحل الى العميق، أو عند جريان الماء تحت حاجز عائم، أو حتى بالضغط السطحي الناجم عن فعل الريح، تتغضن الرقيقة في مسلسل من الطيات، وحيث ينطوي السطح المنافر للماء خلفيا على نفسه تتلاصق الرقيقة المتموجة وتحتبس الهواء والماء في عرى أو انشوطات متناوبة. ثم فيما يتسرب الهواء ويتبدد بالتدريج تنهار الفقاعات وتربط معا اقسامـا

متجاورة من الرق لتشكل غشاء دهنوبروتينياً مزدوجاً ينبتر عن رق السطح في اسطوانات صغيرة تتدحرج طليقة في الماء، وسرعان ما تفضي هذه البنى المستطيلة عن نشوء جسيمات كروية شبه الخلية تتألف الواحدة منها من غشاء ثنائي الطبقة دهني يضم بباطنه بيئة مائية • ووجد كولديكر ان الرقائق الدهنوبروتينية المتمزقة ، التوتر السطحي، واللزوجة ، والتقلص ـ التمدد الارتشاحي، تشبه بشدة خواص الاغشية البيولوجية•

تتألف الدهنوبروتينات المكونة للرقائق السطحية من مشبوكات تقع ما بين البروتينات والدهنيات وهذه تتألف بشكل رئيسي من الفوسفودهنيات• ان سلسلة البرافين المنافر للماء في مركبات الحوامض الدهنية من الفوسفودهنيات، باحتجابها عن الماء، هي التي تقوم بتوجيه الجزيئات الدهنية في الطبقة الاحادية الجزيئة في الفاصل البيني بين الهواء والماء• ويعتقد في العموم ان الاربطة بين البروتين والفوسفودهنيات تتألف في الاغلب من الايونات وتقع عند الفاصل البيني رغم انه بوسع المجموعات الجانبية



الشكل ٥/٢٣ ـ الحويصلات الناتجة في مستخرج من تجربة افتعلت التمثيل ما قبل الحيوي للدهنيات•

المنافرة للماء في البروتين ان تتفاعل مع الطبقة الدهنية • وعندما تنشأ طبقة ثنائية من تمزق الرقيقة تندمج السلاسل المنافرة للماء لطبقتي الدهنيات وتصبح الوحدة المقتطعة حويصلة ذات بروتينات ملتصقة بكلا جانبي الغشاء•

ان الرقيقة السطحية من اصل بيولوجي، فهل كان نظيرها قد تواجد على الارض ما قبل البيولوجية؟

يبدو محتملا انها كانت تكوّن سمة شائعة آنذاك، مثلما هي الآن• ان الفوسفودهنيات مركبات تنشأ من تكثف الحوامض الدهنية ، والغليسرول ، وحامض الفوسفوريك ومكوّن صغير اضافي• وكان قد اعلن ان السياناميد، وهو عامل التكثيف الداخل في التكوين اللاحيوي للبولي نووتيدات والبولي هضميتيدات ، ايضا يحفز فسفرة الغليسرول في المحاليل الحامضية • وقد وجد ويل هارغريفز (Will Hargreaves) وشين ملفهيل (Shean Mulvhill) وديف ديمر (Dave Deamer)[٦] من جامعة كاليفونيا في ديفيس ، في التجارب المقامة لدراسة التمثيل اللاحياتي للفوسفودهنيات على الارض البدائية أن الحوامض الدهنية والالديهايدات الدهنية تتفاعل مع الغليسرول عند تجفيف الخلائط معا وترخيمها بدرجة حرارة (٦٥°) مئوية لمدة اسبوع واحد • في تجارب أقيمت لافتعال البرك الناجمة عن الفيضانات المدية قام هؤلاء باعداد محاليل مخففة تحتوي على الغليسرول والفوسفات والسياناميد واضافوا مشتقات هيدروكاربونية مختلفة للرقيقة السطحية • وعند تبخير الخلائط حتى الجفاف وشي او تحميص الثمالة بدرجة حرارة (٦٥°) مئوية على الرمل او الصلصال تمكنوا من اكتشاف فوسفودهنيات مماثلة للحامض شبه الفوسفوتيك وغليسروفوسفات الفوسفاتيديل في المواد الناتجة عن تلك العملية ، مع بعض الدهنيات المحايدة المتخلفة• اضافة الى ذلك عند صب الماء في هذه المنتوجات وخض الخليط تكون بسرعة معلق (suspension) لا متجانس من الحويصلات

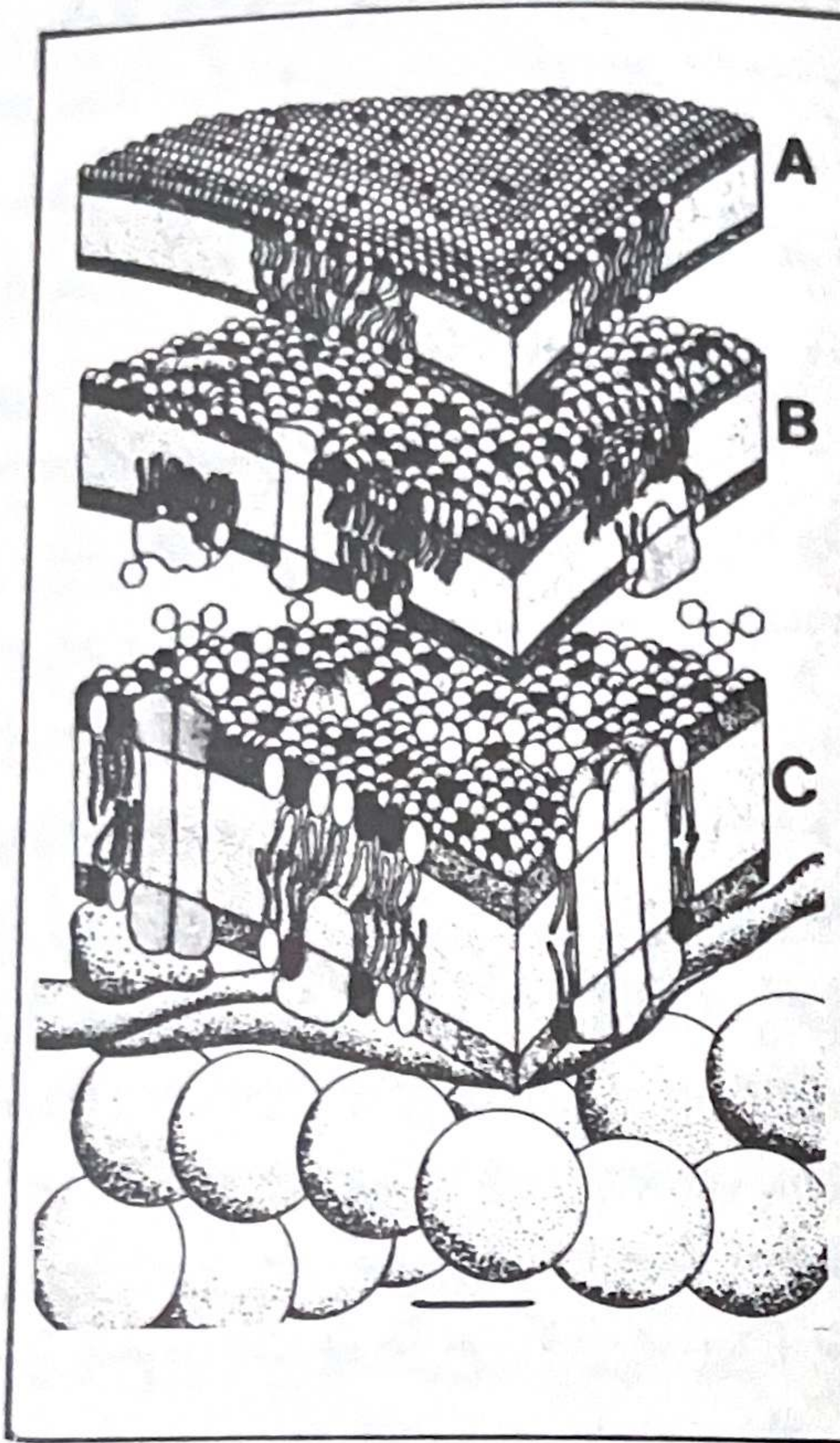
مع الغشاء الثنائي الطبقة الدهني • علقت اهمية خـاصة على غليسرول الفوسفاتيديل نظـرا لأن هـذه الدهنيـة ومشتقاتهـا الامينواسيليـة (aminoacyl derivatives) بارزة التواجد في أغشية البروكاريوت •

وفيما واصل هارغريفز وديمر دراستهما وجدا أن النزعة الى تشكيل بنى شبيهة بالخلية لم تنشأ من الدهنيات الاكثر بساطة من الفوسفودهنيات وانما ايضا تلقائيا بدون فعل الموج أو أي شكل آخر من الاضطراب • كونت الجزيئات المشحونة المفردة السلسلة حويصلات دهنية مستقلة وحتى احاديات الاسيل غليسرول (monoacylglycerols) التأمت في دهنوسومات عند تفرقها في الماء• زيادة على ذلك كونت الحوامض الدهنية ذوات (٨ الى ١٦) ذرة كربونية حويصلات دهنية عند جعل الاحوال قلوية قليلا•

كانت المعالم الحرجة (critical parameters) لتكون الحويصلات مستوى س هـ ودرجة الحرارة وطول السلسلة الهيدروكربونية • وبدا ان الحد الادنى لطول السلسلة التي يمكن للاغشية أن تتكون منها في تفرقات نقيـة كان ثمانية (٨) كربونات لكل من الحوامض الدهنيـة وأحـاديات الاسيل غليسرين، وكان مدى درجة الحرارة المطلوب مـا بين (٢٠ــ٥٥°) مئويـة ومستويات س هـ ما بين (٧ الى ٩)، وهذه أحوال تتواجد في معظم البيئات الارضية•

على ما يظهر كانـت الغليسرودهنيـات البسيطـة اكثر انتشـارا من الفوسفودهنيات على الارض البدائية ، وكان بوسع الرمل أو الصلصـال في المسطحات الطينية أو المستجمعات المائيـة الجافـة توفير الظروف الملائمة لتفاعلات التكثف ــ الجفاف التأمت فيها الجزيئات المحبـة والمنافرة للماء لتشكيل الغليسرودهنيات • وزيـادة على المحفـزات السطحية كالسيليكا والصلصال ربما ان عوامل التكثيف الكيميائية من سياناميد وثنائي السياناميد ساعدت في التمثيل ما قبل الحيوي لهذه المركبات الغشاء انمائية•





الشكل ٦/٢٣ ــ خطوات افتراضية في نشأة الغشاء الحيوي• يمثل الخط الافقي (٥٠) نانومترا• أ ــ الغشاء الثنائي الطبقة الابسط يتضمن دهنيات مفردة السلسلـة مع هيدروكربونـات C_8-C_{12}

ب ــ غشـاء يتضمـن كلاً من دهنيـات احـادي وثنـائي الكيل (mono-and dialkyl lipids) (C_{10}-C_{16}) مع بولي هضميتيدات ملتصبة ومحتشرة بينيا • ج ــ غشاء متقدم من دهنيات ثنائي الكيل (C_{16}-C_{18}) يتضمن بروتينات وهيدروكربونات ، ومتعاشر مع اجهزة بروتين محيطية•



لاختبار سلوك الدهنيات في الاحوال الافتعالية قام ديمر وغيل برجفيلد[٨] (Gail Burchfield) بترك دهنوسومات الفوسفو دهنيات تتعرض الجفاف ـ التميؤ (dehydration-hydration) في حضور ٦ ـ كاربوكسي فلوريسين (6-carboxyfluorescein) و دنأ DNA الحوينة المنوية لحوت سليمان (Salmon) على التوالي. اثناء فترة التميؤ التأمت الدهنوسومات بالبنى المتعددة الرقائق أو الرهائف (multilamellar) مع الصبغة (dye) أو الدنأ DNA محتبسة بين الطبقات . وعند اعادة تميؤ المنظومة انتفخت الرهائف وشكلت بنى حويصلية كبيرة تتضمن مواد الاختبار. واتضح من ذلك أن اغتماد الجزيئات ما قبل الحياتية كان سمة عادية للدورة.

انما يبدو انه كان هناك شيء أكثر في سلوك الدهنوسومات من الاحتواء ساعد الخلية في مسيرتها. ان عملية التمثيل الحيوي وثيقة الصلة بالبنية، فان كيفية وضع الانواع الجزيئية للتفاعل ذات أهمية في تمييز الاليات الخلوية من المحاليل المكشوفة. عنداضافةحامضي (d-AMP و d-TMP) ومرسومةمن الدنأ DNA (بوليمرجانبي مساعدبولي Poly dAdT alternating copolymer=dAdT) ووضعها في عملية «بركة المد =tide pool » حيث تجففت المكونات في أحوال لاهوائية لفترة بضع ساعات بدرجة حرارة (٦٠ ـ ٩٠°) مئوية ، حصل شيء رهيب . اندمج قدر صغير من المونومر d-AMP او d-TMP في الجزيئة البوليمرية[٩].

كانت الحصيلة ضئيلة بالمقاييس المختبرية (١ر٠ بالمائة بالدورة) ولكن هائلة الاهمية في مغزاها. كانت الدهنية (lipid) ودرجة الحرارة جوهريتين للتفاعل. وحدس ديمر ان البلمرة الدهنية الاعتماد لمونومرات النوتويد الى جزيئات أكبر ربما تحصل لأن توجه المونومرات في الحيز الثنائي البعد الممهد

بطبقات الدهنية اثناء دورة الجفاف يراصفها لتشكيل رابط ثنائي ايستر الفوسفات (phosphodiester) .

ويعتقد ديمر وهارغريفز ان الاغشية الابتدائية في الارض البدائية كانت اما جزئيا او غالبيا دهنية . وحتى قلما تصبح عملية التمثيل الحيوي (biosynthesis) حقيقة واقعة ، كان يمكن ان تتواجد قوى انتقائية فضلت الاستقرارية التي ركزت الفوسفودهنيات المتوفرة في خلايا معينة. وكانت التفاعلات الايونية والماء تنافرية بين دهنيات وهضميتيدات الغشاء لتتيح للاخيرة لتحتشر في بنية الغشاء، وربما حقنت فيها انفاذية انتشارية انتقائية . وفي الاخير كان تمثيل البروتينات ليؤدي الى نشأة بروتينات مندمجة في الغشاء لوظائف نوعية كأنزيمات او كعوامل لنقل المواد الى ومن الخلية.

كانت جميع القوى الطبيعية متواجدة في البيئة البدائية لتوفير مستلزمات الالتئام الذاتي للخلايا البدائية، لقد تواصلت النشأة ممتدة من المواد الجمادية وحتى الجزيئات الضخمة والبنى الخلوية الى الخلايا الاولية في عمليات تفاعل تلقائية تسلسلية . وعند تأمل عدد الوقائع الممكنة نجد لابد أن مسلسل التفاعلات امتد تكرارا الى انواع خلوية تمكنت من اجتياز العتبة الى النشأة البيولوجية . ومن تلك اللحظة فصاعدا كانت دخلت الميدان لتفوز بمعترك المستقبل.

الفصل الرابع والعشرون ـ ظهور الخلايا

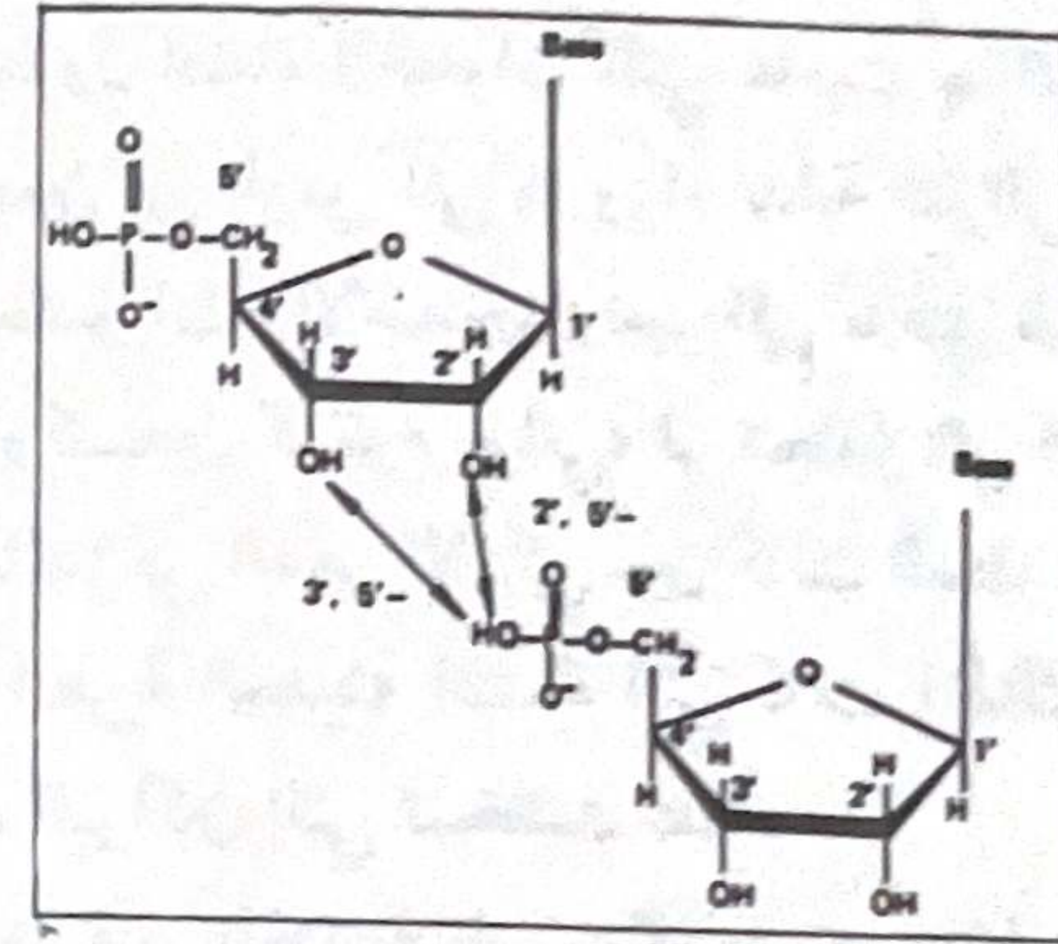
اندثر المشهد البدائي وزال من الوجود، واضمحلت المواد ما قبل الحياتية التي ولدت الخلايا الحية الاولى واندرست معالمها منذ زمن بعيد في عمليات دورية تكرارية لا تعد ولا تحصى قامت باستهلاكها واحالتها فيها ذات المتعضيات التي كانت مرة قد خلقت • ولم يتبق شيء ليشهد على ذلك الحدث الجلل قبل أكثر من ثلاثة آلاف وخمسمائة مليون سنة على الارض الاركية حين التقت المادة والطاقة لتخلقا كيانا حيا كتب له في النهاية أن يتكاثر وينتشر في كل بقعة وزاوية في القشرة الرقيقة المائية والغازية التي تتغمد الارض ، ومن ثم ليمد مجساته الى الخارج نحو الكون الرحب الفسيح.

لكي نرسم الاحداث التي تواترت بين ما قبل ثلاثة الى اربعة آلاف مليون سنة خلت، يقتضي بنا أن ندرس انماط عمليات الحياة وتثبت من تيارات السلوك الملموسة ونحاول اقتفاء الخطوات التي تعاقبت بها الحياة • آنئذفقط نستطيع ان نقفل راجعين في الزمن الى ما وراء بداية التوالي او مخلوقات الدهر الوسيط واللاحشويات والاسفنج، ونعبر الى ما قبل ظهورااليوكاريوت، الى ما قبل مجيء الاوكسجين كمقوم حياتي، ثم تتجاوز الى العالم الحارالنزيع الغريب الذي كان سائدا في الدهر الاركي حين كانت البحار ضحلة ضحضاحة تسف حول القارات الطرية الحديثة النشأة التي كانت آنذاك مجدرةومسودة بترعصات وتشنجات البراكين التي تمخضت عنها.

انحرفت المواد ما قبل الحياتية التي تكونت على الأرض البدائية الى البطاح المنخفضة وتجمعت فيها وأخذت تتفاعل مع بعضها في حشود لا تحصى من الالتئامات والالتحامات الكيميائية الممكنة، فتحلمأ بعضها بسرعة ليعود ويلتئم مرة أخرى بكيفية مختلفة ، وترسب غيرها اكثر استقرارا منها وبدأ بتراكم • ونشأت الحياة عن الالتحامات التى تمكنت من الاستمرار في البقاء.

لكن استمرار بقاء المواد الكيميائية الذي يعتبر اعتياديا ناشئا عن مقاومة التفسخ، تم في هذه الحالة بطريقة أضمن من ذلك الى حد كبير. فالطريقة التي تمكنت بها أمزجة كيميائية من مواصلة استمرارهـا وتخليـد بقائها كانت بتناسخها ذاتيا.

بدأ الامر بالنووتيدات. فقد كان بوسع هذه الكيميائيـات الالتئـام بعضها في اشكال شتى ضعيفة بواسطة الترابط الهيدروجيني، بعضها أقوى من بعض، ولكنها جميعها سهلة التحلل والانفكاك في المحلول. عند تحويلها الى مشتقات منشطة مثل البولي فوسفـات والفوسفوراميدات وثنائي ٢، وثلاثي ٣، الفوسفات الدائرية تكثفت النووتيدات في سلاسل قصيرة، وفي أغلب الاحيان تضامت المونومرات الى بعضها في ترابطات اسهامية ثنائية ٢، خماسية ٥، وكذلك في اربطة ثلاثية ٣، خماسية ٥، الموجودة في المنظومـات البيولوجية.



لكي تتمكن من التناسخ بوجه فعال كانت بولي نووتيدات المتعضيـة تحتاج لتكون من صنف واحد من الترابط الاسهامي. فبأية وسيلة تمكنت الخلايا البدائية من الوصول الى بولي نـووتيدات ذوات اربطة موحـدة متسقة؟

طرح ديفيد أشر(١) من جامعة كورنيل مخططا بيانيا يوضح كيف تمكنت النووتيدات المتضمنة اربطة من صنف ثنـائي ٢، خمـاسي ٥، (أي: 2', 5'- وثلاثي ٣، خماسي ٥، بالتدريج من ان تصبح بولي نووتيدات ثلاثي ٣، خماسي ٥. بفعل نمط دائري في الطبيعة. عندما تلتوي اوليغونووتيدات ذو اربطة ثلاثي ٣، خماسي ٥، في لولب مزدوج تصبح لديها مقاومة اكبر للحلمأة من النووتيدات ذوات الاربطة ثنائي ٢، خماسي ٥، التي تصدع التضريسة اللولبية، وبتعريض بوليمرات مختلطة لاحوال دورة طبيعية، ستنزع الحلمأة التفاضلية للرابط ثنائي ٢، خماسي ٥، الى استحثاث تراكم البولي نووتيدات البيولوجية.

في مخطط أشر كانت النووتيدات (نووسيدات: nucleosides 2'3'-phosphates لتسخن وتشتوي في تواجد الايميدازول والمحفزات اللاحيوية الاخرى، ثم عقبت هذه عملية تبريد واضافة القليل من الماء. ويقترح أشر ان بتكرار هذه الدورة مرارا ومرارا كان ليحصل تراكم متزايد من الاوليغونووتيدات ذوات الترابط الاسهامي ثلاثي ٣، خماسي ٥، (3', 5'. linkage). وهذه عملية كانت لتحصل كثيرا على الارض البدائية.

طلعت الشمس في كل صباح متعالية على وجه الارض الاركية وأخذت حرارتها تكثف النووتيدات الى اوليغومرات مختلطة. وبانقضاء النهـار هبطت الحرارة فتساقط الندى على البوليمرات وبللها. وفي اثناء فترة الليل وجدت بعض الاوليغومرات ذوات الاربطة ثلاثي، خماسي (3', 5')، في المحلول اندادا متممة لها لتكون معها لوالب قصيرة. وفيما طلعت الشمس مرة أخرى لتكرر الدورة كانت النووتيدات الملفوفة في اللوالب محمية لحد ما من الحلمأة فيما تعرضت النووتيدات المرتبطة ثنائي، خماسي (2', 5') اللامحمية للحلمأة التفاضلية. وتعاقبت الدورة يوما أثر يوم، وفي كل مرة يزداد عـدد البولي نووتيدات المتبقية في اربطة ثلاثي، خماسي (3', 5') في سلاسل أطول فأطول.

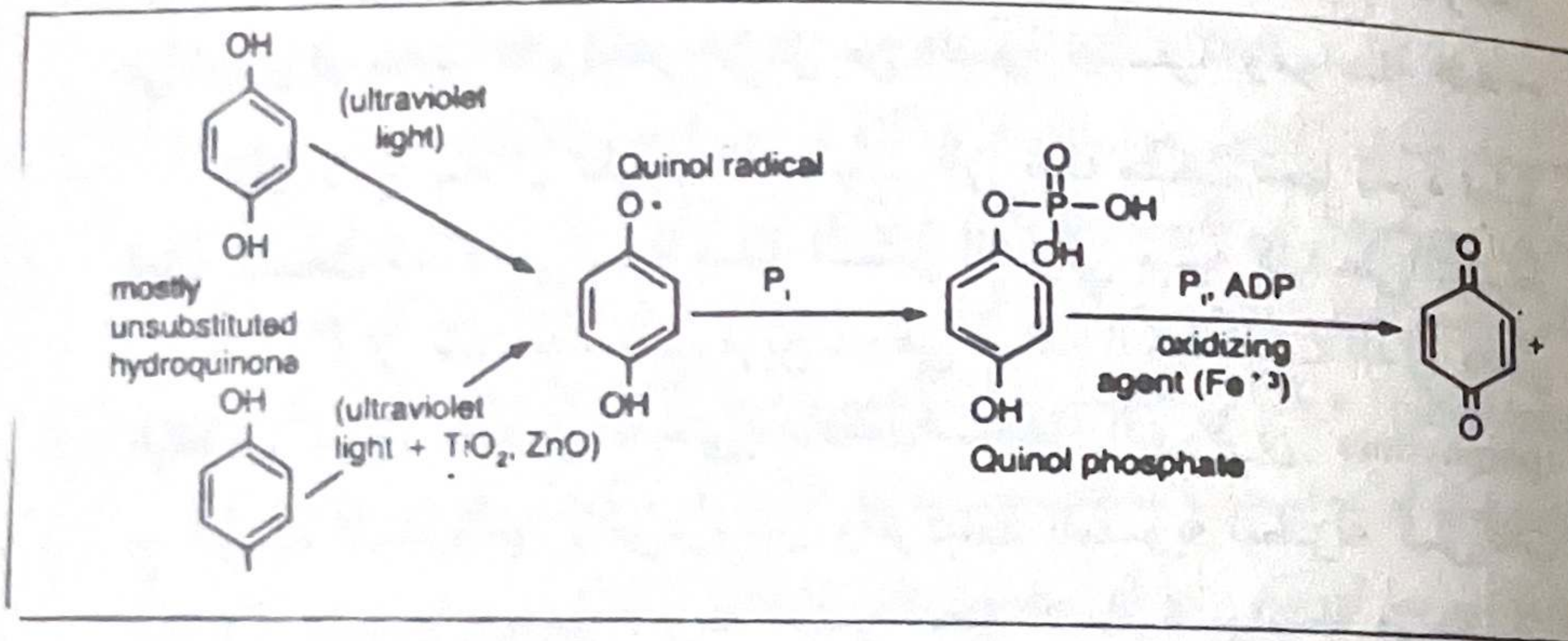
كانت النوويدات بقواعدها من البيورين والبريميدين مجرد مواد كيميائية . لكنها مع ذلك كانت تملك القدرة على تشكيل الترابط الهيدروجيني، ليس مع نوويدات أخرى مثلها، وانما مع نوويدة ذات قاعدة من الصنف الآخر. بهذه الطريقة كانت البولي نوويدات تصنع سلاسل من النوويدات المتممة التي تكون الالتئامات الاكثر استقرارية . بدأ تناسخ الجزيئات على الارض يتم فقط من خلال فصل البنية المزدوجة الوهن وصنع نسخة من «المالبة». ومع تمام هذه العملية اصبحت هي الاساس لتأييد او مواصلة الانواع الجزيئية.

لكي تستطيع البولي نوويدات مواصلة تكونها دعت حاجتها الى طريقة تنشيط عملية ووقاية من الاشعة ما فوق البنفسجية الشديدة التي تحطم بنية النوويدة، عملت الترسبات على وقاية البولي نوويدات المتغطية ولكنها لم تتح لها ما يكفي من المجال لمواصلة التفاعل، وفقط عند غورها الى اعماق تحت غطاء سميك من الماء ملكت البولي نوويدات الحرية للتحرك في المحلول وهي محمية من الاشعاع الشرس (ملاحظة : ان ضوء ما فوق البنفسجي بموجة طولها ١٨٠ نانومترا ينفذ الى عمق أقل من سنتمتر واحد، بينما بموجة طولها ٢٨٠ نانومترا يتخلل مسافة عشرة امتار في الماء قبل انطفائه). والجزيئات المتناسخة التي كانت قد انجرفت الى البطاح المنخفضة وجدت نفسها في الاخير متصدقة في الحويصلات التي تكونت من الرقيق الدهني المرن الذي غطى المياه البدائية.

بهذه الطريقة بقيت ممتسكة في اتصال او تعاشر وثيق مع حيازتها على حرية الحركة التي كانت تملكها في المحلول المركز حيث تواجد قدر قليل من الماء. انما لمواصلة البقاء في الماء دعت حاجتها الى امداد من الطاقة الطليقة، أي أنها احتاجت الى التفسفر . ويبدو انه كان في هذه المرحلة أن استنبطت

الخلايا الناشئة نوعا بدائيا من عملية التمثيل الضوئي.

يقترح ستيلويل(٣) في ورقته حول نشأة الفسفرة الضوئية ان في الاحوال الاختزالية والضوء ما فوق البنفسجي الشديد للارض البدائية كان بوسع الاشكال الاولية من الخلايا استخدام الفسفرة الضوئية المبنية على فوسفات الكوينول (quinol) لانتاج ما تحتاجه من الاتپ ATP وغيره من النوويدات المنشطة. في الخلايا المعاصرة تتواجد الكوينونات (quinones) في سلسلة الفسفرة الضوئية . لكن اليخضور وشبه الجزرينات (carotenoids) هما البمعان الابتدائيان (initial collectors) للضوء المرئي. ويعلل ستيلويل ان مسلسل التفاعلات بدأ بالاصل بالكوينون وامتد الى مصاصات أوعوامل ماصة للضوء المرئي أكثر فعالية مع اضمحلال شدة الاشعة ما فوق البنفسجية عند بدء الطبقة الاوزونية بالتكون.



الشكل ١/٢٤ – نموذج مقترح الفسفرة باستخدام الضوء ما فوق البنفسجي لانتاج الاتپ ATP .

كان الضوء ما فوق البنفسجي مدمرا قتالا بمقادير كبيرة ولكنه كان ايضا مصدر الطاقة الاكثر غزارة تتزود منه المواد البسيطة • تتكون فوسفات الكوينول (quinol phosphates) من تعرض الهيدروكوينون (hydro-quinones) للضوء ما فوق البنفسجي بحضور الفوسفات اللاعضوية • ان فوسفات الكوينول عوامل فسفرة قوية وبمعية المشبوكة الكبريتيد الحديد القابلة للذوبان في الماء (وهي طليعة الفريدوكسين) تقوم بفسفرة الأدپ والأتپ، وعلى ما يظهر كانت النووتيدات الاخرى تملك القدرة على التنشط بنفس الطريقة•

فائدة هـذا النموذج هي انه يوضح انه كان مـن الممكن أن تكـون الفسفرة الضوئية قد نشأت في زمن مبكر من تكون الحياة من المواد البسيطة بدون البنية الغشائية المعقدة التي عثر عليها في آلية التمثيـل الضوئي التي نشأت في زمن لاحق• وفيما نما الجهاز الجيني لدى المتعضيات واصبح اكثر عرضة للتلف بفعل الضوء ما فوق البنفسجي كانت الخلايا تستطيع الازدهار في اعماق او مناطق تنال القدر الامثل من الضوء للفسفرة ومواصلة البقاء•

وفي الاخير بعد ان تطورت المتعضيات الى نقطة ملكت معها قدرة تمثيل اعظم اصبحت قادرة على تنمية عملية التمثيل الضوئي مبنية كليا على التنشيط من الضوء المرئي باستخدام البورفرين ، وهي صنف الكيميائيات الذي يشمل اليخضور • يبين ستيلويل أنه حتى بعد ادخال استخدام البورفرين (porphyrins) مع كبريتيد الهيدروجين والهيدروجين والمركبات العضوية المختزلة كموردات الكترون (electron donors)، ربما استمر انجاز الفسفرة بواسطة فوسفات الكوينول ، ولم تفقد الكوينون (quinones) دورها كعوامل فسفرة الا بعد أن اصبحت مشبوكة البورفرين ــ الكوينون ــ كبريتيد الحديد محبة للماء

ومرتبطة ببنية غشائية دقيقة محكمة ، وآنذاك آلـت الى مجرد مكوكات (shuttles) للالكترون والبروتون في آلية التمثيل الضوئي، وهو الدور الذي تقوم به حاليا•

كان يمكن أن تكون هذه الخلايا البدائية وشكلها الخـام من عمليـة الفسفرة الضوئية وتناسخ البوليـنووتيدات كثيرة الاعداد ، لكن الحياة آنذاك كانت تسير بخطى معوقة بطيئة • كانت التفاعلات بطيئة ، احيـانا تستغرق اياما، وشهورا، وحتى سنوات، بسبب عدم وجود الانزيمات• لم تكن الاغشية الدهنية يتم توليدها بالتمثيل الحيوي، انما كانت لا تزال معتمدة على الترسب الدهني ما قبل الحيوي المتراكم• ربما تواجد شكل خام من تبادل المواد بين الحويصلات عند اتحاد اثنتين منها ثم انقسامها ثانية ، أو عندما كانت خلية متواجدة تتصل بها وتمتص مزيدا من الدهنية فتنفصـل الى خليتين اثنتين مختلفتين، خلال هذه الفترة كانت الخلايا لربما مقتصرة على بيئات محصورة كالبحيرات البركانية ومناطق انحصار الماء الملائمة والمساعدة على اللقاءات•

ربما بقيت الخلايا البدائية موجودة في هذه المرحلة لمـدة ملايين ولا يستبعد مئات الملايين من السنين• كانت الحوامض الامينية ومواد عضوية أخرى موجودة في البيئة المائية ، ولكنها لم تكن ذات اهمية تذكر• ولربما كانت الحوامض الامينية التي تسربت الى الخلايا احيانا تشكل ادنيـلات (adenylates) وبالتالي هضميتيدات قصيرة فيما كانت لا تزال بمثابة الايمينات (imines) او بواسطة تشابك مجموعاتها الامينية بمكون خلوي باطني• غير ان هذه ربما لم يكن لها أي مفعول على الخلايا آنذاك ما عدا مجرد التكوم•

كانت البولي نووتيدات لتتعرض للتغير بالتبـدل الطفري خلال هـذه الفترة، انما كان يمكن ان تنشأ التنويعة الاعظم من تبادل البولي نووتيدات

قصيرة بين قطين الخلايا (cell population) • كان اقتران هذه الوحـدات في وحدات أطول على فترة مديدة من الزمن ليفضي الى عدد هائل من المؤتلفات. ويبدو من المعقول الافتراض انه كانت احدى هذه البولي نووتيدات هي التي أعطت جزيئة انطوت خلفيا على نفسها واتخذت شكلا ثلاثي الابعاد امتسك معا بالقواعد المتممة المقابلة ، وذلك بعد ترجمة البولي نوتيدة الى سلسلة متتامة، ثم اصبحت أول رنأ ناقلة (transfer RNA) وأصبحت سلسلة النووتيد التي تم نقلها او ترجمتها منها الجينة الاولى•

وبما ان الترجمة او النسخ (transcription) تشكل علاقة واحدة بواحدة (one-on-one) فلم تمس حاجة الجينة لأول رنأ ناقلة الى طول أكثر من طول الرنأ الناقلة ذاتها• قامت مرغريت دايهوف وزملاؤها[٣] في مركز طب جامعة جورج بواشنطن بدراسة التطور الجزيئي للرنأ الناقلـة وتجنح الى القول ان النتائج كلها تشير بقوة الى ان الرنأ الناقلة جميعها مشتقة من جينة مفـردة واحـدة• جميع الرنأ النـاقلة ممثلـة من (C,G,A,U)U, A G, C وكلها تتضمن سياق تترامر مماثل في فص واحد، وجميعها تنتهي في CCA وجميعها تملك حوالي نفس الطول • كما يشير الباحثون ان احتمالية حصول حتى اثنتين من مثل هذه الجزيئات المتشابهة بالتطابق مستقلتين عن بعضهما وبنفس الوقت في نفس الخلية كانت ضئيلة للغاية • من جهة أخرى ، كان تناسخ (duplication) جينة الرنأ الناقلة متبوعا بتغيرات التبدل بالطفرة مستقلة في الجينات المنفصلة ليفضي الى منتوجات شديدة التشابه • والتضاعفـات اللاحقة وسعت عدد الرنأ الناقلة بما يستوعب تنويعة من الحوامض الامينية•

أما ان الرنأ السلف تقبلت حوامض امينية من ادنيـلات الحوامض الامينية ، او ربما ان نهاية CCA الطرفية للرنأ الناقلة كانت قد جرى تنشيطها

واقترانها مباشرة بحوامض امينية • ايا كان الامـر ، من الواضح ان الرنأ الناقلة بدأت كوسيط لا نوعي في تكثيف الحوامض الامينية عندما تراصفت مشبوكة الرنأ الناقلة ـ الحامض الاميني في سلسلة بولي نووتيـد تعمل كحامض نوويك رسول معاصر • لا يزال غير مفهوم تماما كيف طورت الرنأ الناقلة نوعويتها، رغم النوعوية الرابطة لكل رنأ ناقلة بحامض اميني معين تكمن في الانزيمة التي تنفق الارتباط• الا ان الرنأ الناقلة تمكنت في النهاية من ادخال آلية لتكثيف الحوامض الامينية الى هضميتيدات متناظرة مع سياق النووتيدات في الجزيئة الرسول•

الريبوسومات هي جسيمات فرع خلوية تلعب دورا جوهريا في تمثيـل البولي هضميتيدات • وبدون الريبوسومات لا تبقى مشبوكة الرنأ الناقلة ـ الحامض الاميني مرتبطة بالرنأ الرسول لفترة تكفي للتفاعل • لكي تتمكن الخلية البدائية من بدء الآلية دعت حاجتها الى شيء ما للمشاركة كريبوسومة أو ان يتسنى لها أن تنجز هذه الخطوة بكيفية ما بدون معونة هذه الجسيمات•

يرى فرنسيس كريك وآخرون[٤] ربما ان تمثيل البروتين الابتدائي حصل لدى الرنأ الناقلة التي تترابط بخمسة ازواج قاعدية بدلا من ثلاثة ، على الرنأ الرسول، كما هي الحال لدى المتعضيات المعاصرة • بهذه الطريقة كان الارتباط ليكون من القوة بما يكفي لمسك مشبوكة الرنأ الناقلة ـ الحوامض الامينية في مكانها لفترة تكفي لحصول التكثف بدون الريبوسومة • كما اقترحوا ايضا ان كان قد تم تدوين اربعة حوامض امينية فقط للآليـة الاصلية هي الغلايسين ، والسيرين ، وحامض الاسبرتيك، والاسبـاراجين (asparagine) نظرا للتقييدات الناجمة المفروضة الكودونات من جراء ذلك•

من جهة أخرى تتألف الريبوسومات المعاصرة من زهاء خمسين بالمـائة

(٥٠٪) من حامض النوويك والباقي من تنويعــة من البروتينات • يبدو من الاكثر احتمالا أن تمثيل البروتين بدأ على الريبوسومات البدائية المتكونة من مشبوكات البولي نووتيدات وعملت الثلاثية او الثالوثة بصفة الكودونة منذ البداية•

ربما لم تكن جميع الحوامض الامينية التي استخدمتها المتعضيات اللاحقة قد تواجدت ما قبل بيولوجيا • لكن حامض الاسپرتيــك، والغــلايسين، والسيرين ، والالانين ، وهي الحوامض الامينية الالفا الاكثــر شيوعا التي تتولد عن السيانيد والموجودة بكثرة في الفريدوكسين ، كانت ببالغ التأكيــد ما قبل حياتية• أما الارجينين والهستيدين اللذان لم يتم انتاجهما بتجــارب الافتعال ، فلربما انهما نشآ فقط من خلال التمثيل الحيوي فيما تقدمــت المتعضيات في تطورها•

توجد فئتان من الحوامض الامينية ، الحوامض الامينيــة البنيويــة والحوامض الامينية من ذوات المجموعات الوظيفية على السلسلة الجانبية • وبعض هذه الاخيرة، لاسيما التي لها مجموعة قاعدية مرفقــة ، تلعب أدوارا حيوية في الانزيمات ولكنها لا تتكون بسهولة وسرعة في التجارب الافتعالية، كنتيجة، ربما ان مركبات ما قبل حياتية أخرى كانت قد عملت كبدائل الى أن تطور التمثيل الحيوي لهذه الحوامض الامينية • وكمثال هو ٤ــ امينوـ ايميدازول ــ٥ــ كربوكسـاميــد (4-amino-imidazole-5-carboxamide) وهــو مشتق الايميدازول من سيانيــد الامونيوم ، ربما كان قــد عمــل بصفــة الهستيدين (histidine) للخلية الناشئة • كما ان التريبتوفان (tryptophan) والفنيل الانين، والتيروسين، والميثونين، هي مرشحات أخرى ربما انها نشأت عن تمثيل حيوي•

—

ما ان أســت الخلية الاولية درجة من النوعوية للرنأ النــاقلة مع مناظرة الحوامض الامينية بسياقات النووتيد في البولي نووتيد الرسول، فان أيــة هضميتيدات ذات فائدة لم تعد تكون عفوية الحصول وانما امكن انتاجهــا بحسب الحاجة اليها، مضفية على الخلية بذلك ميزة انتقائية• كان الفريدوكسين السلف أحد اول الهضميتيدات الناشئة ، وقد قام ايك (Eck) ودايهوف[٥] بتقفي أثره عكسا الى تتراهضميتيدة او رباعي هضميتيدة (tetrapeptide)

يتألف الفريدوكسين ، الذي هو الآن بروتين كبريتيد الحديد ، من خمسة وخمسين (٥٥) حامضا امينيا في اشكال الحياة المتقدمة ، ونشأ بالتطــور الى جزيئة متنامية في الكبر بالتوالي، وفي كل تغيير له تناول بروتينــة جديدة كانت أكثر كفاءة من سابقتها كحاملة الكترون • وهذا قلما يترك شكا في ان هذه هي الكيفية التي نشأت بها الانزيمات•

ربما كانت الخلية البدائية قد بدأت منذ زمن سابق تستخدم كبريتيد الحديد كمحفز أما لوحده او مرتفقا بالسيستين، او مع هضميتيدة لا حيويــة من نوع ما• ويبدو ان نشأة الفريــدوكسين التطورية بدأت بالهضميتيــدة (الاــاسبــسرغلي) (ala-asp-sergly)• أمــا جينة الهضميتيــدة ، وطولهــا اثنتا عشرة (١٢) نووتيدة فتضاعفت في النهاية، وفيما اصبحت قدرات التمثيل لدى المتعضيات اكثر مطواعية وكفاءة ، تمكنت الآلية الجينية من استدماج حوامض أمينية أخرى • كانت السيستين بين هذه الحوامض الامينية ، ثــم ارتفق الرابط الكبريتيدي بكبريتيد الحديد • والتبدلات الطفرة التيحورت وزادت سياق الحوامض تعقيدا خلقت مسلسلا من التغييرات افضى في النهاية الى مشبوكة من كبريتيد الحديد والبروتين شديدة التعقيد ذات قدرةمتمكنة للغاية•

ليست الانزيمات مواد مفذاذة وانما تبدو كذلك فقط بفضــل كفاءتهــا

المتناهية التي تتضاءل ازائها كل المحفزات الاخرى بالمقارنة . وقد خلق هذا الفهم الخاطىء الفكرة انه كان ليتعذر على اية منظومة بيولوجية أن توجد بدونها . وهذا بالتأكيد يصدق على اية متعضية بالقياس الى الحياة المعاصرة، لكن الخلايا البدائية كانت موجودة لفترة عدة مئات من ملايين السنين قبل أن تنشأ الانزيمات . غير انه ما ان نشأت الانزيمات كانت فائدتها الانتقائية للخلايا هائلة لدرجة ان الخلايا ذوات الانزيمات أخذت تتكاثر وتنتشر بسرعة، مكتسحة امامها جميع انواع الحياة البدائية الاخرى.

نشأت الانزيمات من مواد ابسط واقل كفاءة منها كانت تقوم بنفس الوظيفة التي تؤديها هي، فالهستيدين والبيريدوكسين وكبريتيد الحديد وغيرها كلها مواد تقوم بتحفيز التفاعلات الكيميائية وهي ايضا مكونات اصبحت جزءا من سلاسل الهضميتيد أو تشابكت معها في توليفات تنفق التفاعلات بسرعة اكثر مما لو كانت لوحدها . وفي الاخير نشأت الانزيمات من عملية تطور تمثيل البروتين التي جمعت هذه المواد الكيميائية التحفيزية ودمجتها في بنيتها كجزء منها لتصبح محفزات حيوية او بيو محفزات.

وأول الانزيمات التي نشأت كانت ستكون تلك التي تسهل وظيفة آلية التكاثر ، وكل فائدة تولدت للتناسخ انطلقت تنتشر مع الخلايا السريعة التوالد في جميع انحاء القطين، وبهذه الطريقة اعطى الفريدوكسين، بتسريع عملية الفسفرة الضوئية ، فائدة مميزة للخلية البدائية . لم يتم بعد استيضاح التفاصيل البنيوية للانزيمات ذوات الصلة ببلمرة وترجمة العمليات الى النقطة التي يمكن معها تعريف وتحديد اصول الانزيمات ، انما يفترض ان هذه الانزيمات كانت لتكون من بين الاوائل التي ظهرت في المنظومات البيولوجية.

لقد اكتشفت اعتق احافير المتعضيات المتواجدة على الارض مطلقا في تشكيلتي شجرة التين والانفرواخت في ارض او اقليم جبل باربرتون من شرقي

الترانسفال بجنوب افريقيا. تقع الاحافير في احجار الظر الخام التي تظهر احيانا في طبقات افقية انما في الاغلب في جيوب كانت قد تكونت في سطح لابا عتيقة ، هناك، في مياه البحيرات البركانية الغنية بالفلزات ازدهرت اعتق اشكال الحياة على الارض، وانقرضت، واندفنت في الرواسب لتبقى مقبورة طوال ثلاثة آلاف وخمسمائة مليون من السنين .

فهل كانت هذه الخلايا البدائية التي تكونت بالاول من التئام مواد ما قبل حيوية لتشكل الحياة ، أم كانت هذه حياة متطورة عن تهذيب الآليات الجينية والتأيضية وتشذيبها لفترة استغرقت مئات الملايين من السنين؟ في دراسة مقارنة لنشأة السيتوكرومات والرنأ الناقلة قام ماكلافلين (Mclaughlin) ودايهوف[٦] باحتساب زمن ظهور البروكاريوت ووجدا انه أبعد في القدم بقدر (٢ر٦) ضعف من زمن نشأة اليوكاريوت. فاذا كانت اليوكاريوت قد ظهرت في ما قبل الف وثلاثمائة (١٣٠٠) مليون سنة ، كما اوحت اليه الاحافير المجهرية لدى بريستون كلاود، فربما ان الخلايا البدائية كانت موجودة قبل ثلاثة آلاف وتسعمائة (٣٩٠٠) مليون سنة.

وهذه في الواقع باهرة تماما . اذ باعتبار ان الارض تكونت قبل اربعة آلاف وستمائة (٤٦٠٠) مليون سنة وتبعتها مرحلة تي تاوري (T. Tauri) للشمس، فان هذا يتيح أقل من الف مليون سنة لتكون الجو والمياه من فعل البراكين، ولانتاج وتراكم المركبات العضوية ما قبل البيولوجية ، ولقيام الخلايا البدائية وتطورها الى متعضيات وظيفية تامة . فتمثل هذه السبعمائة (٧٠٠) مليون سنة بالتقريب الفترة الزمنية لأول تكون للجبال ، حيث تراكمت الحرارة من النشاط الاشعاعي في الارض ومرت خلال دورة بناء الجبال . وظهرت الخلايا البدائية مبكرا لدرجة لابد ان العمليات التفاعلية التي أفضت الى تكونها كانت شديدة الاحتمال ، وفي الحقيقة شديدة الاحتمال لدرجة تستوجب اعتبار ظهورها حدثا حتميا كان لابد منه.

الفصل الخامس والعشرون ـ الخلية العجيبة

كانت الخلايا العتيقة الاولية التي عامت متدحرجة بفتور وضنى في مياه البحيرات البركانية الدافئة في الدهر الاركي مجرد البداية • لكنها كانت حية جينيا او انساليا • كانت قد اجتازت العتبة ولم تعد الآن مجرد جزيئات جمادية لا حياة فيها، وكانت الواحدة منها التئاما من مكونات شكلت وحدة تضم نووتيدات نشيطة تكثفت الى بولي نووتيدات على بولي نووتيدات أخرى، وتقوم في اثناء هذه العملية بوظيفة التكاثر الجزيئي• لكن، مع ذلك، ربما كان الامر سينتهي هناك لولا خاصية خطيرة واحدة • لقد كانت هذه الخلايا الاعتق تملك القدرة على التغيير• فبقي الباب مفتوحا قليلا•

عاشت الخلايا كحشد من التفاعلات الكيميائية ، وكل تحسن في كفاءة هذه التفاعلات جعل الخلية اكثر تنافسيـة على المواد المتوفرة في الوسط ، والخلايا التي سادت كانت تلك التي ملكت القدرة على الوصول الى مكونات لها اشد الفعالية في التكاثر وعجلت وتائر التفاعل • وهذه القدرة على التغير مع ميزة احتمالها على الاشد كفاءة هي التي رفعت الخلايا الفطرية البدائية من مجرد كونها مواد حية جينيا ليس الا الى المتعضيات كما نعرفها اليوم بقدراتها البارعة على التآيض•

تمعج الدرب الى خلايا حية ايضيا وتلوى في مهامه ومضايق التغيير، كل منها مضف تحسينا على قدرة الخلايا على تحفيز تفاعلاتها البيوكيميائية ، الى أن تتوجت هذه في الاخير بالمحفزات الاكثر اعجابا في الوجـود ، ألا وهي الانزيمات • لكن قبلما يقيض للانزيمات لتصبح جزءا من الآليات الخلوية لابد ومضت فترة طويلة تم في اثنائها وضع الاسس اللازمة لظهورها•



دخلت الحوامض الامينية ، والبيورنات، والبريميدينات والدهنيات الى المنظومات البيولوجية كاملة تامة التكوين ، وكانت هذه لبنات البناء للمكونات البوليمرية المكثفة والبنية الخلوية. الا ان البروتينات مركبة من تنويعة من الحوامض الامينية أعظم بكثير مما يبدو كان متوفرا في خزين المواد ما قبل الحيوية . مع ذلك، كان يمكن ادخال بضعة حوامض امينية بعد بداية عملية تمثيل البروتين. وما ان اصبحت البروتينات القوام الرئيس للوظيفة الخلوية فان أي تغيير في حامض اميني مفرد كان يؤثر ليس فقط على بروتينة واحدة وانما على جملة كبيرة منها ، ولهذا السبب يبدو ان مسلسل الحوامض الامينية ظهر في الوجود قبل مجيء الانزيمات.

ينظر الى الحوامض الامينية عادة بمنطوق وحدات فرعية من البروتينات، ولكنها ايضا تعمل كطلائع لمواد بيوكيميائية أخرى بما فيها حوامض امينية غيرها، وكانت الحوامض الامينية الاسهل والاسرع انتاجا من السيانيدات ، أي الآلانين ، والسيرين، وحامض الاسبرتيك، والغلايسين، لتكون متوفرة في البيئة بأعظم المقادير . ومن هذه الحوامض الامينية القلائل بذاتها تقوم الخلايا المعاصرة بتمثيل تنويعة كبرى من مكوناتها الاساسية ، وذلك لربما بواسطة مسالك كيميائية تناقلت عبر الاجيال من الخلايا البدائية العتيقة . اذن، حتى قبل ظهور الانزيمات لابد انه كان يجري تمثيل حوامض امينية من اصل وراثي حيوي في الخلايا البدائية من خلال استحالات كيميائية بسيطة كانت هي طلائع التفاعلات البيوكيميائية القائمة اليوم.

في العموم ، تشتمل عملية تمثيل الحوامض الامينية على مناقلة مجموعات وظيفية $(-NH_4, -CH_3, -CO_3, -CH_2OH, -CHO)$ من مكوّن اوحامض اميني الى آخر. يمكن بتفاعلات المناقلة المجموعاتية تحويل بضعة حوامض

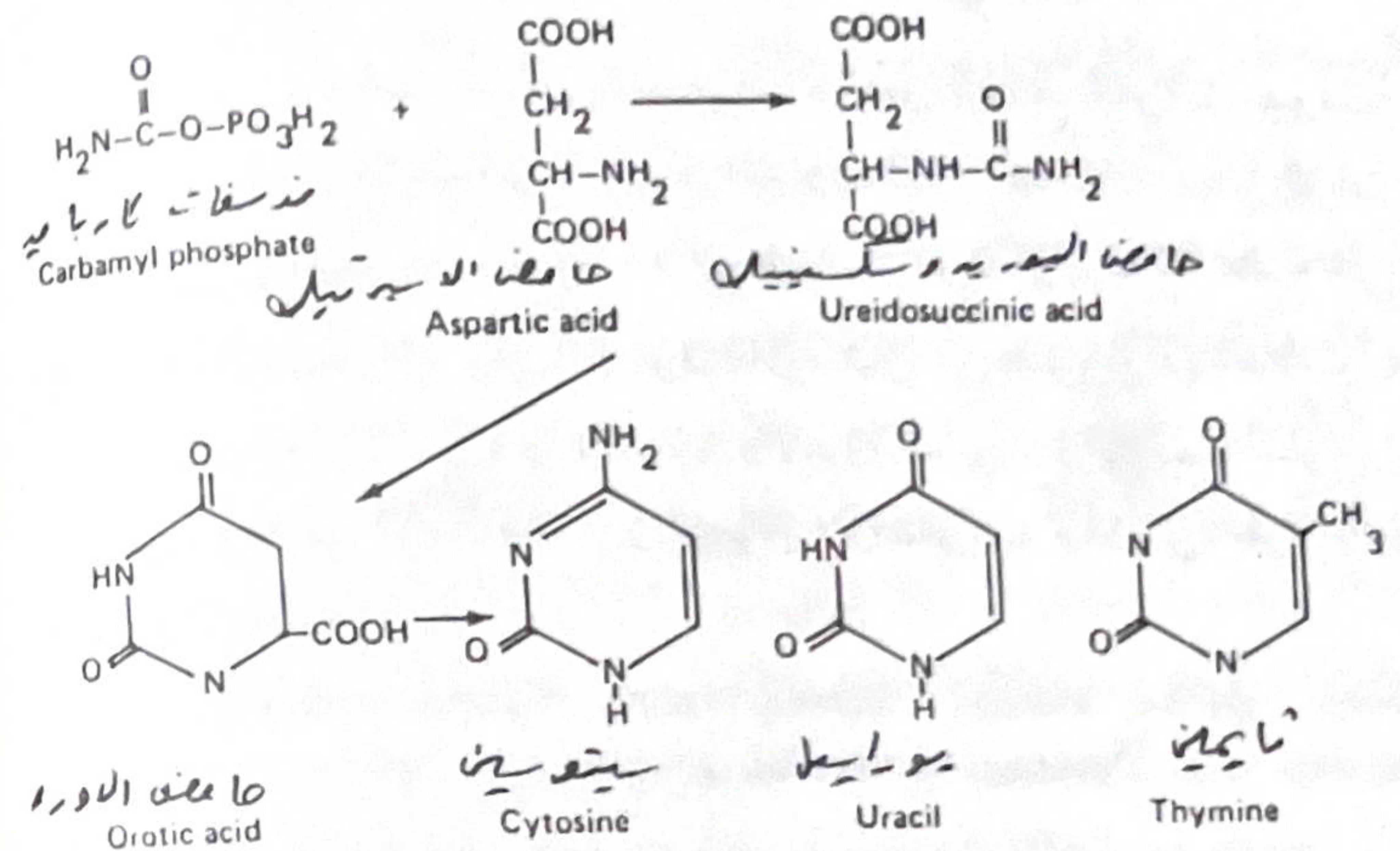
أمينية الى تنويعة واسعة من حوامض امينية ومقومات بيولوجية جوهرية أخرى. وهذه التفاعلات وغيرها هي التي يعمل حامض الاسبرتيك فيها كطليعة للبيورنات، والبريميدينات، والالانين، والثريونين ، والليسين ، والمثيونين، والارجنين. ويمكن أن يتجرد السيرين ، وهو حامض اميني آخر مشتق من سيانيد الهيدروجين ، الى بيروفات، كما يمكن لعملية نزع الكربوكسيل (decarboxylation) بدورها ان تؤدي الى الخلات (acetate) والخلات بدورها بشكلها المنشط بصفة الانزيمة المساعدة أ (acetyl coenzyme A) تدخل مباشرة في عملية تمثيل الدهنيات للغشاء الخلوي.

انه لعجيب حقا كيف تتمكن بضع مواد ان تعمل كطلائع لمكونات حيوية أخرى. وفي بعض المتعضيات ، بوسع البيروفات والخلات والكربونات (pyruvate, acetate, carbonute) ، وهي مواد كانت لتكون شائعة عادية على الارض البدائية ، أن تقدم كل الكربون اللازم لكل من السيرين ، والغلايسين، والسيستين، والالانين، والفالين، واللوسين ، والايسولوسين والليسين، وحامض الاسبرتيك ، والثريونين، والمثيونين، وحامض الغلوتاميك، والبرولين، والارجنين

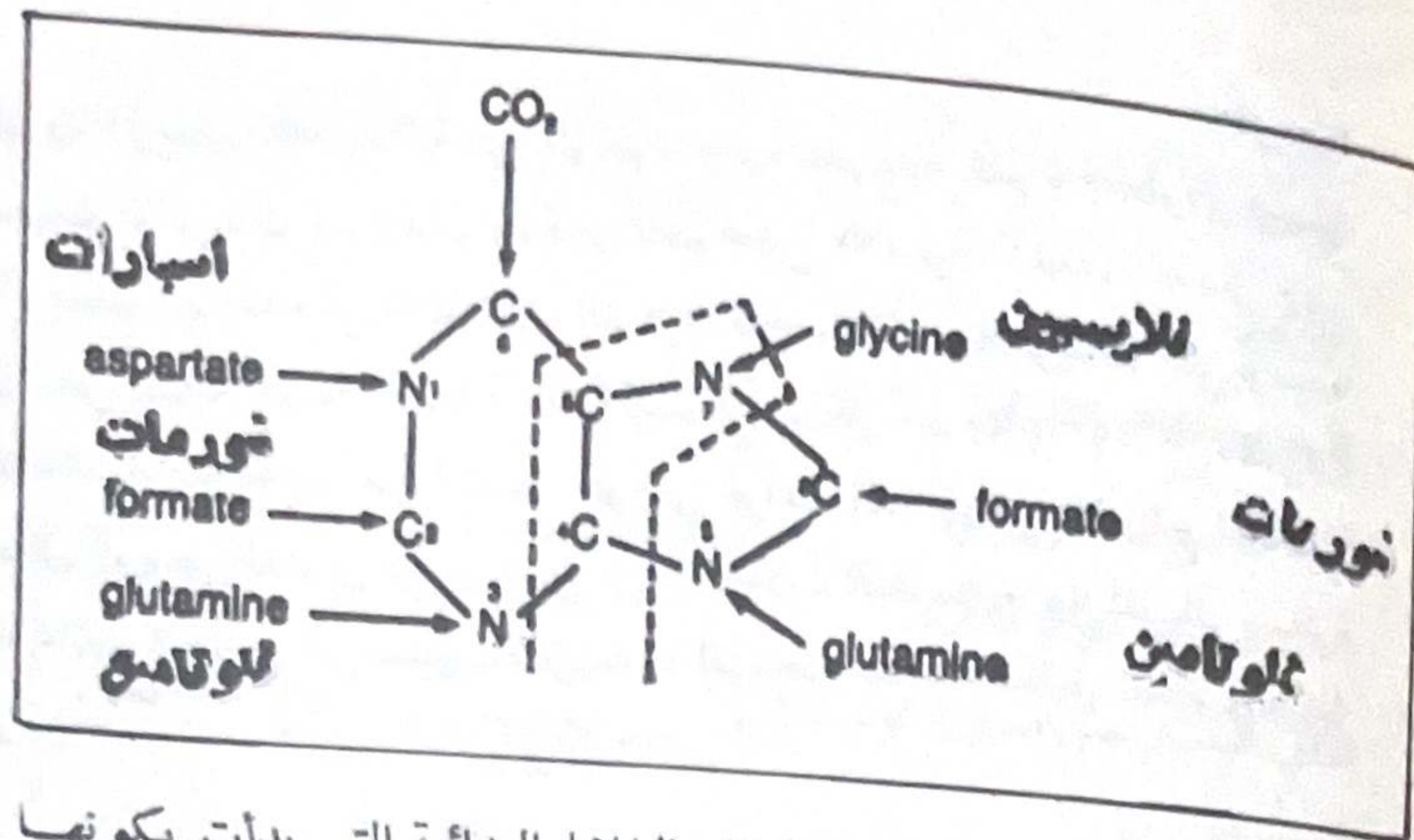
serine, glycine, cysteine, alanine, valine, leucine, isoleucine, lysine, asparatic acid, threonine, methionine, glumatic acid, proline, arginine.)

كانت جميع التفاعلات الكيميائية التي تستخدمها المنظومات البيولوجية موجودة قبل ظهور الحياة . وعليه، فان الخلايا الناشئة لم تخلق اية تفاعلات كيميائية جديدة لتمثيل مقوماتها انما مجرد انها تبنت الوسائل اللازمة للتحكم بالتنويعات العديدة الممكنة منها، وحققت ذلك بتسريع تفاعلات انتقائية بواسطة المحفزات . ومن بين أهم المحفزات او عوامل التحفيز التي اندمجت

ان التمثيل الحيوي للبيورنات والبيريميدينات (purines, pyrimidines) وهي قواعد الحوامض النوويك ، موجود في جميع المتعضيات ، وربما كان احدى عمليات التمثيل الاعتق التي لزمت للبقاء. في المتعضيات المعاصرة يتم تمثيل البيريميدينات في خطة (scheme) لابد انها اصلية نظرا لشموليتها الجامعة وبساطتها . في هذه العملية يتفاعل فوسفات الكرباميل مع حامض الاسبرتيك لينتج حامض اليوريدوسكسينيك (ureidosuccinic acid) ومركب يستدير الى حامض الاوروتيك (orotic acid) وهو طليعة البيريميدين .



كما يتم استخدام حامض الاسبرتيك والغلايسين، وكذلك الفورمات (formate) وثاني اوكسيد الكربون في عملية التمثيل الحيوي للبيورين ، بينما تأتي اثنتان من الذرات النيتروجينية في البيورين من الغلوتامين.



وهكذا ، فقد كان يوجد في باطن الخلايا البدائية التي بدأت بكونها حية جينيا مجموعة كبيرة من التفاعلات الكيميائية التلقائية تعمل بوتائر مختلفة ادت في النهاية الى خلق متعضية نشيطة ايضيا . ومن هذه التفاعلات تلقت الخلايا البدائية تنويعة متوافقة (assortment) من الحوامض الامينية اندمجت في الهضميتيدات البيوجينية العتيقة. وبدأت الخلايا التي تضمنت محفزات كمشتقات الايميدازول والانزيمات المساعدة بتوليد بيوكيميائيات أخرى كانت تعمل كمكونات مفيدة. كانت أغلب التفاعلات بوتيرة بطيئة ، والخلايا البدائية التي لم تتوفر لها المواد لتسريع الاستحالات المفيدة لتضيع في النهاية بتفكيكها أو امتصاصها من قبل الخلايا الاكثر نجاحا.

كان الطريق التصاعدي الى البقاء مفتوحا للخلايا التي كانت التفاعلات فيها أسرع وأكثر نوعية بتزايد مطرد، وذلك لأن الكفاءة كانت السبيل الى التخلص من التفاعلات اللامقننة نحو التفاعلات النوعية التي أنجزت تمثيل منتوجات نوعية تخصصية . ان الانزيمات المساعدة هي محفزات عامة لصنف من التفاعل الكيميائي. غير انه، عندما ارتبطت بسلاسل البولي هضميتيدات تقبضت حركتها واختلطت بتفاعل البولي هضميتيدة مع الطبقة السفلية .

وظهرت انزيمات خام بدائية الى الوجود • وبالتدريج، خطوة فخطوة، فيما بحسنت الانزيمات باستبدال وتكبير الحوامض الامينية، أخذت تحصر دور الانزيمات المساعدة في التفاعلات النوعية الخاصة فقط بالجزيئات التي بوسعها أن تعمل بمثابة الطبقة السفلية بالتراكيب في شكل البروتين• بانتاج محفزات لتفاعلات نوعية مخصوصة انتظمت فوضى تواجد العديد من الانواع التفاعلية معا في الوسط الخلوي في مسلسل من التفاعلات النظامية • وبانتقال سيطرة التفاعلات الخلوية الى تمثيل الانزيمات، اصبحت عملية التمثيل الحيوي جينيا مبرمجة•

ان تمثيل محفزاتها الذاتية خلق للحياة أحدى خواصها الاكثر دينامية• اصبحت ذاتية أو كيفية التحفيز (autcatalytic) • ان الخلايا التي طورت الانزيمات التي قامت بتسريع تمثيل الانزيمات لتسريع التفاعلات الى سرعة أكثر وأكثر بالتزايد لم تلبث ان سبقت الخلايا البدائية الاخرى •كانت هذه عملية دائرية (cylical) عزلت في الجوهر الآليات الخلوية من البيئة ورسخت الطبيعة الاستقلالية للخلية• ومع تلقيم وارد من الطاقة لدفع عملياتها وآليات التغذية الارتجاعية فيها للتحكم الذاتي الانتظام، انطلقت الخلية في مسيرتها في التطور البيولوجي • وأصبح استخدام الدوائر أو الدورات (cycles) في النهاية الطريقة السائدة في تكوين اشكال الحياة الذاتية الادامة(٢)•

كجميع التفاعلات الجوهرية لدى المنظومات البيولوجية • كانت عملية تجزئة الغلوكوز الى حامض اللبنيك متواجدة قبل مجيء الانزيمات• قام تشارلز ديغاني (Ch. Degani) وأم هلمان(٣) (M. Halmann) بطرح الايضاحات على التجرد القلوي لسداسي فوسفات الغلوكوز (glucose 6-phosphate) يتم بدون فعل الانزيم بالتفاعلات المتوازية والمتتالية (أنظر المعادلة التالية):

انيدرولات

فوسفات

غلوكوز

٦ ــ فوسفات الفلوكوز

٦ ــ فوسفات الفروكتوز

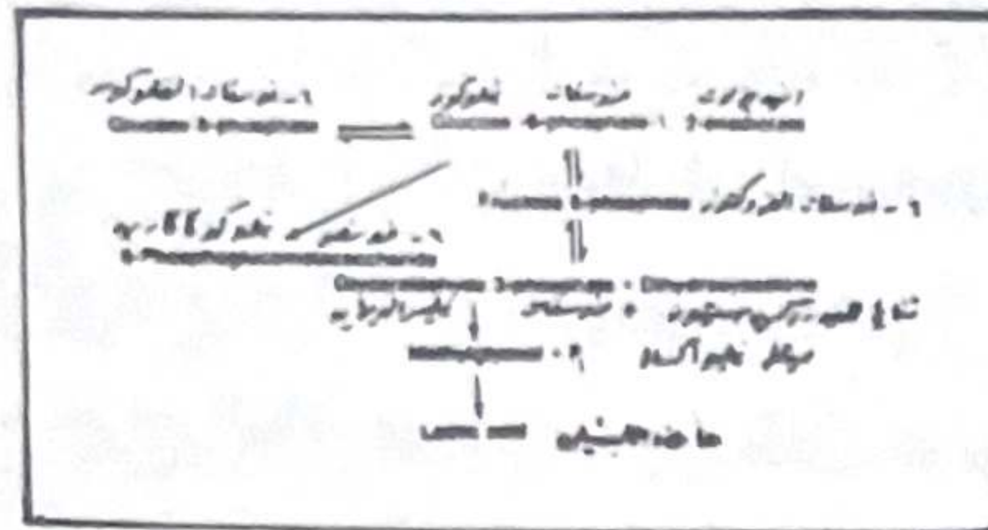
٦ ــ فوسفو غلوكوكاكاريد

ثنائي هيدروكسي‌اسيون فوسفات

غليسر الديهايد

ميثل غليواكسال

حامض اللبنيك



استغلت الخلية عملية الفلكلة (glycolysis) المتواجدة بتوجيه مسلسل التفاعلات التلقائية من خلال حامض البيروفيك، وبمعونة الانزيمة المساعدة NAD استدرت بعض الطاقة الكيميائية المسببة في عملية التجريد لانتاج جزيئتين من الأتب ATP•

وآنذاك اصبحت هذه الوسيلة لاستخراج الطاقة من البنية الكيميائية للمواد الموجودة في البيئة ، وتم رفع الغلوكوز الى دور مركزي كمصدر للطاقة الكيميائية عندما اتمت المتعضيات الدورة بتوليد الغلوكوز من حامض البيروفيك ، اضافة الى الغلوكوز، تمكنت الكلوستريديا وهي من اعتق اللاهوائيات ، من استخدام الكحول وحوامض الكربوكسيليك والحوامض الامينية كطبقات سفلية في التخمر، وهي مواد كانت لتتواجد في الاحتياطي ما قبل الحيوي(٤)•

وقد اكتشف ان الكلوستريديا ، وايضا البكتيريا الضوء تمثيلية ، تملك القدرة على تثبيت ثاني اوكسيد الكربون بتفاعل يتم تحريكه بالفريدوكسين المختزل(٥). يؤدي تماثل او استيعاب (assiminlation) ثاني اوكسيد الكربون الى كربكسلة (carboxylation) انزيمة الاسيتيل المساعدة أ (acetylcoenzyme A) الى البيروفات وهذه تفضي الى تكوين هذه الحوامض الامينية : حامض الاسپرتيك ، وحوامض الغلوتاميك والالانين.

حتى مؤخرا كان يعتقد في العموم ان المتعضيات الارومية القديمة للارض كانت هيتروتروفات (hetertrophs) وهي لا ذاتية التغذية او الاعالة ، التي كانت تستخرج الطاقة الكيميائية من خلال تخمير الاحتياطي لدى المواد العضوية ما قبل البيولوجية . لكن الاركي بكتيريا او البكتيريا الاركية ، وعلى الاخص الميثانوجين، ربما تكون اكثر قدما(٦). واذا كان الجو البدائي قد تكون من ابتثاثات البراكين، كما هو المعتقد الآن، فانه كان ليتألف على وجه رئيس من ثاني اوكسيد الكربون ، والماء، والنيتروجين، والهيدروجين. ان اختزال ثاني اوكسيد الكربون بالهيدروجين الى الميثان والماء تفاعل تلقائي، لكن الوتيرة بطيئة لدرجة تجعل من الممكن ان يكون قد تسخر بفعل منظومة بيولوجية . وعلى ما يظهر استمدت الميثانوجين طاقتها الكيميائية من هذا التفاعل بالذات. تستطيع بعض الميثانوجين المعاصرة من استخدام مصادر أخرى قابلة التحويل الى ثاني اوكسيد الكربون ، مثل حامض النمليك ، لكنها جميعها لا تستطيع مؤايضة مصادر عضوية نموذجية مثلما تستطيع البكتيريا الاكثر تقدما(٧).

بدأت الخلايا الاولية كمنظومات استنساخ جينية تستمد مكوناتها من الاحتياطي ما قبل الحيوي (prebiotic reserve) ، وتم توسيع عدد الحوامض الامينية بالاستحالات، وفي الاخير جاء تمثيل الانزيمات بعمليات

التآيض لدى المتعضيات التامة الوظيفية ، وهذه جميعها كانت تكيفات قديمة للغاية رسّخت انماط الحياة لجميع اشكال الاحياء على الارض. لقد ازدادت البروتينات في العدد والتركيبة منذئذ، لكن الحوامض الامينية ثبتت واصبحت غير قابلة للتغير، فان أي تغير آخر في احدى لبنات البناء الاساسية ستكون له آثار تدميرية على فاعلية الآلاف من البروتينات في المتعضية الواحدة.

وفيما كان يجري ترسيخ الطبيعة الجوهرية للحياة ، كان شيء آخر غريب يحصل. فقد بدأت بعض الخلايا انتقائيا باستعمال قدر اكثر من ايسومر بصري من الحوامض الامينية والريبوز مما هو في آخر. ربما ان التفاضل بدأ ببطء ولكنه تسارع أسيا فيما استهلكت الخلايا حطام خلايا أخرى الى أن خلال فترة وجيزة كانت جميع الخلايا تستخدم بلا استثناء الحوامض الامينية من فئة الفا ايل (L-a-amino acids) وسكاكر من فئة (D-Sugars)S

تتضمن المركبات ذات الكاربون اللامتناظر (الكاربون ذو اربعة بدائل مختلفة) ايسومرين اثنين مجسمين (stereoisomers) لكل واحد من هذه الكاربونات (carbons) والايسومرات هي صور مرآتية واحدها للآخر لا تقبل الاعتلاء عليها (nonsuperimposable) ، وكنتيجة يقوم شكل واحد بتدوير (rotate) الضوء المستقطب الى اليسار (−) والآخر الى اليمين(+). وقد تم تأشير تضاريس الايسومرات البصرية (D) و (L) ليس لبيان اتجاه الدوران وانما كان تخصيصا اعتباطيا او مطلقا من الحوامض الامينية من كاربون الفا (a-carbon amino acids) ورباعي كاربون الخماسوزات او البنتوزات (4-carbon of pentose) مثل الريبوز، وخماسي كاربون السداسوزات او الهيكسوزات (5-carbon of hexoses) من مثل الغلوكوزه

في آلية التأيض الخلوية وبقيت فيها بوجه ثابت هي الانزيمات المساعدة (coenzymes) •

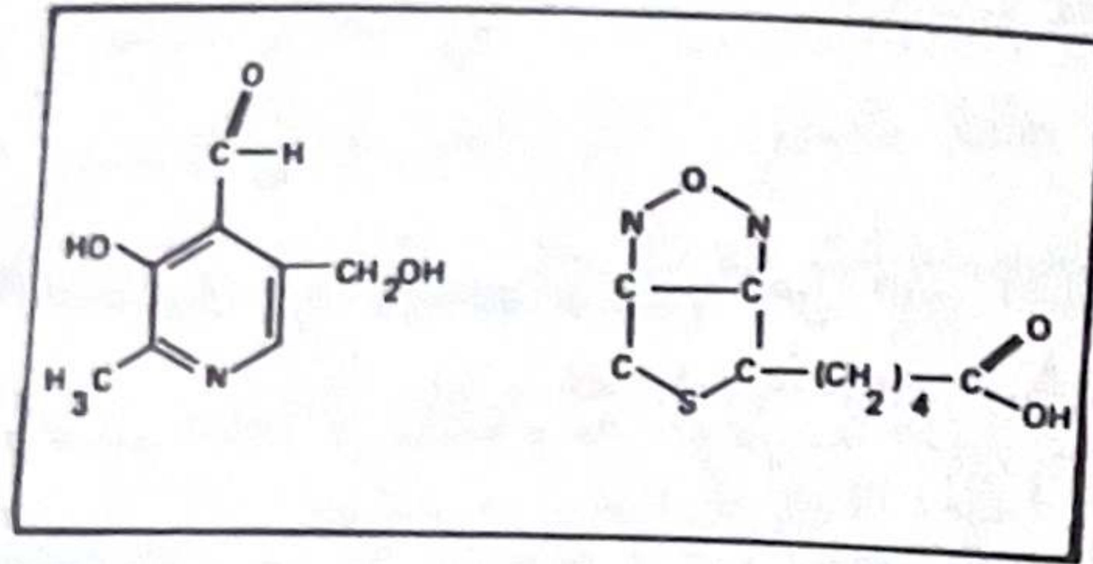
ان الانزيمات هي بروتينات ذوات خواص تحفيزية• ويمكن ان تكون سلاسل بولي هضميتيد بسيطة او بروتينات مقترنة مع حصة لا بروتينية ملحقة بها لاداء وظيفة نوعية• وعليه، فان الانزيمة المساعدة (coenzyme) هي القطعة أو الحصة من الانزيمة مطلوبة للقيام بهذا النشاط، ويمكن اعتبارها بالقطعة القابلة للفصل من البروتينات المقترنة • والعديد من الانزيمات المساعدة تحتوي على فيتامينات كجزء من بنيتها ، وفي العموم تقوم بوظيفة متقبلات للالكترونات او المجموعات الوظيفية•

مثل المكونات الجوهرية الاخرى، يبدو ان أغلب الانزيمات المساعدة تنتسب الى أصل قديم عتيق ، وربما انها هي وسابقاتها المباشرة اصبحت جزءا تام التكوين من المنظومات البيولوجية • أصبحت نووتيدات البيريدين (pyridine) (ناد NAD وناديب NADP) متقبلات هيدروجين لتفاعلات الاكسدة ـ الاختزال ، واصبحت الانزيمة المساعدة أ (coenzyme A) الوسيلة لنقل الاسيل (Acyl transfer) • وهذه النووتيدات هي مشتقات ذوات تركية بسيطة نسبيا وكان يمكن ان تنشأ لا حيويا • وكانت الثيامين والبيريدوكسال والبيوتين (thiamine, pyridoxal, biotin) انزيمات مساعدة مستخدمة في نقل المجموعات •

يقوم الثيامين ، بصفة بيروفوسفات الثيامين ، في وسط قلوي بتحفيز شطر $-\overset{O}{\overset{\|}{C}}-\overset{O}{\overset{\|}{C}}-$ مع تكوين الديهايد نشيط (active aldehyde) وبهذه الطريقة تمكن الثيامين او نظيره البدائي من تسريع تجزئة البيروفات الى

خلات لتتوفر لتكوين (acetyl-S-Co A) ، وهكذا تم تحويل الاسيتيل ومجموعات الاسيل الاخرى (acetyl, acyl groups) الى الحالة المنشطة لتمثيل الغليسريد (gleyceride) ليتسنى للخلايا البدائية المباشرة باعداد الغشاء الدهني الخاص بهـا•

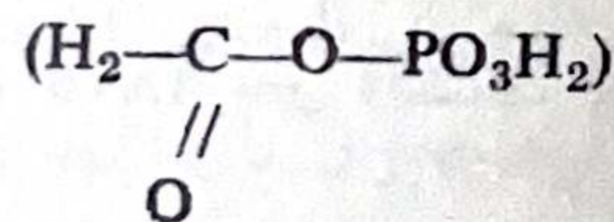
يشترك فوسفات البيريدوكسال في اصناف عديدة من التفاعلات • فهو بوسعه تحفيز عمليات نزع الكربوكسيل ونزع الامينات (deamination) وترحيل الحوامض الامينية • كما بوسعه ايضا نقل الكبريت من المثيونين الى السيرين لتكوين السيستين•



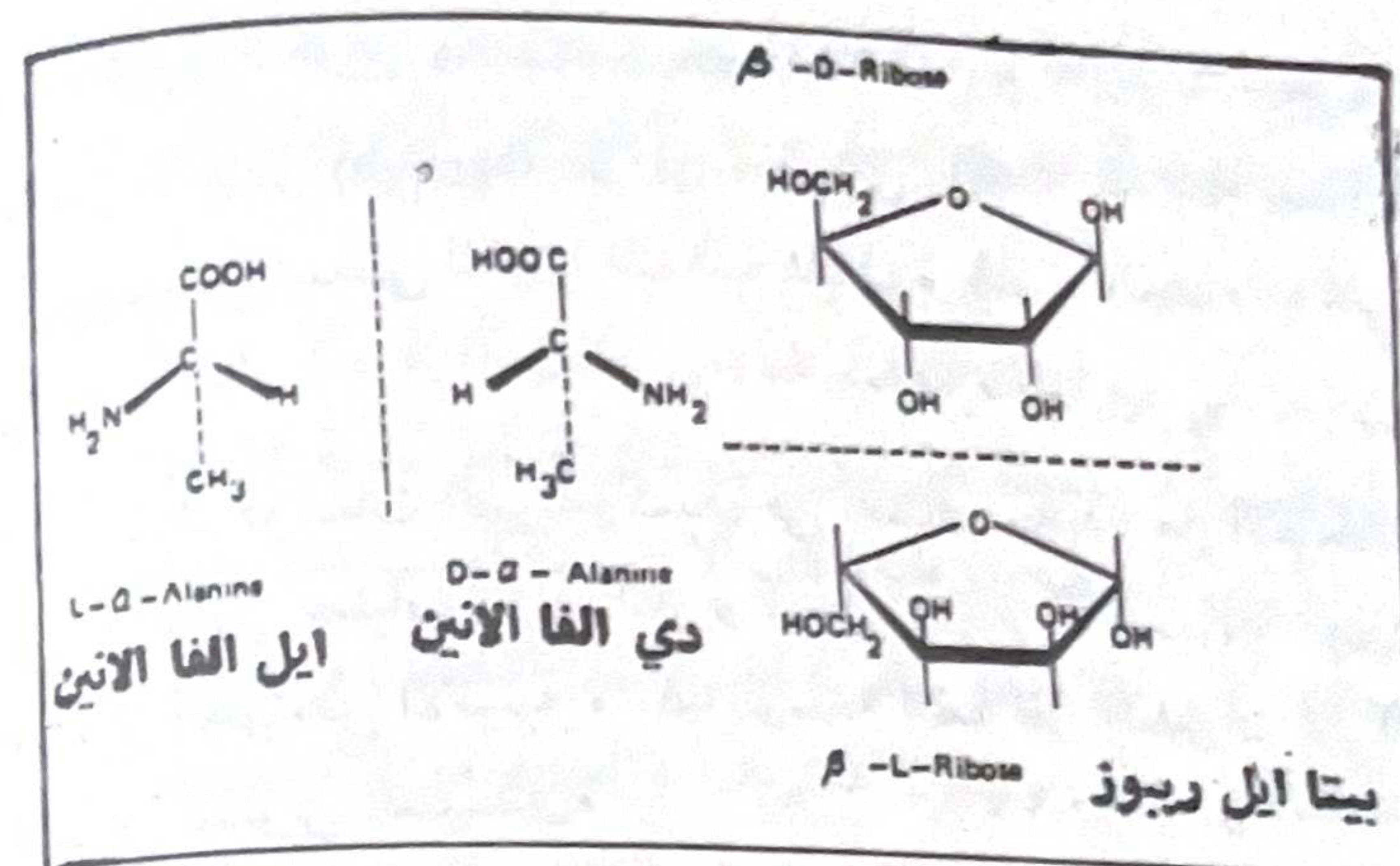
الشكل ٢/٢٥ ـ البيريدوكسال والبيوتين

يعمل البيوتين كأنزيمة مساعدة في تثبيت ثاني اوكسيد الكربون ونزع كربوكسيل الانزيمات • كما يوجد وفق ما أعلن عنه تفاعلات انزيمية أخرى للبيوتين مساس بها، الديهيدروجناز والديكربوكسيلاز السكسينية (succinic dehydrogenase and decarboxy lase) وايضا ديأمينازات حامض الاسپرتيك، والسيرين ، والثريونين (deaminases of aspertic acid, serine, threonine)

كما يدخل البيوتين ايضا في تمثيل فوسفات الكرباميل (carbamyl phosphate) وصيغته :



وهو مركب مطلوب لتمثيل البيريميدين•



كانت الانتقائية التجسمية (stereoselectivity) من قبل الخلايا البدائية خطوة عملاقة في اتجاه تنظم المادة في المنظومة الوظيفية التي نسميها بالحياة. ولما كانت الطاقات المطلقة او السائبة للايسومرات البصرية متطابقة الشبه (identical) في بيئة خاملة أو غير نشيطة بصريا، فان تمثيل الحوامض الامينية، والسكاكر، والمواد اللامتناظرة الاخرى، ما عدا من قبل المتعضيات. يعطي عددا متساويا من الايسومرات المجسمة الممكنة. ومثل هذه الخلائط الاسيمية (lacemic mixtures) تعجز عن ابداء أي نشاط بصري. وعليه فان هذه الخاصية الفريدة للجزيئات البيولوجية عديمة النظير بحيث انها اعتبرت احدى صفات المنظومات الحية، وكخاصية رئيسة يجري الاختبار لها في المواد العضوية من النيازك، والقرارات الجيولوجية، والتحريات الكوكبية للتثبت مما اذا كانت من أصل حيوي أم خلافه.

لقد حيّر لغز أصل النشاط البصري منذ عام ١٨١٥ حين اكتشف جان

باتيست بيو (Jean Baptiste Biot) ان السكاكر، وحامض الصاموريك، والكافور، وزيت التربنتين، تستدر الضوء المستقطب المنبسط في الحالة السائلة او المحلول، ثم اكتشف باستور ان هذه هي سمة ذاتية نابعة من لا تناظرية الجزيئات الفردية، وظنا منه ربما ان المجال المغنطي للارض هو العامل اللاتماثلي الذي يستحث التمثيل اللاتناظري، قام بمحاولة فاشلة لاعداد ايسومرات بصرية باستخدام مجالات مغنطية شديدة القوة. لكن خطأ افتراضه كان أحد اسباب اخفاقه، وذلك لأن المجال المغنطي ودوران الارض كلاهما قوتان متناظرتان في واقع الحال.

يمكن فصل الايسومرات البصرية في المختبر بصعوبة بالغة فقط، وحتى آنذاك بالاستعانة عادة بايسومر نقي آخر، وظل التمثيل النوعي التجسم هدفا يقض المضاجع سنوات طويلة حتى بلغ اليأس بالعلماء في محاولاتهم تمثيل الايسومرات المجسمة حدا دفع أف آر جاب[٨] (F.R. Japp) في عام ١٨٩٨ الى احياء النظرية الحيوية بالاعلان ان التمثيل الاولي للجزيئات اللامتناظرة كان مستحيلا، وان الجزيئات اللامتناظرة هي كالمتعضية الحية، لا يمكن اشتقاقها الا من جزيئات لا متناظرة فقط.

لم يكن جاب مصيبا تماما في استنتاجه، ولكنه شدد على السؤال: كيف نشأ النشاط البصري لدى المنظومات البيولوجية اذا كانت الخلايا الحية فقط تملك القدرة على اتتاجه.

تنقسم النظريات التفسيرية حول كيفية صيرورة المنظومات البيولوجية تجانسية التجسم الى فئتين اثنتين: نظرية ما قبل الحياة، ونظرية ما بعد نشأة الحياة. يحاول ادعياء النظرية ما قبل الحياة ايجاد الوسائل الطبيعية التي تمكنت من انجاز التمثيل النوعي التجسمي في المركبات ما قبل الحياتية. أما الآخرون فيحاججون بأن التجانسية التجسمية نشأت من اصول بيالوجية

قام فانت هوف[٩] (Van't Hoff) بدراسة الضـوء المستقطب كعامل محتمل كان يعتقدوه التسبب في نشأة التمثيل اللامتـاظر في الاحوال الطبيعة . وقد ورد الاقتراح منـذ ذلك الحين بأنـه كان بامكان الضوء المستقطب المنبسط جزئيا من السماء بتحوله الى ضوء يميني (right-handed) مستقطب دائريا وجزئيا عند انعكاسه على سطح الارض تحت تأثير المجال المغنطي ان يؤدي الى تحليل الايسومرات البصرية . فتم وضع هذه الفرضية قيد الاختبار التجريبي بالتحطيم الضوئي المتجسم الانتقاء للايسومرات مع الضوء المستقطب المستدار[١٠] (circularised) ، لكن نسبة التحليل او الفرز (resolution) المحققة كانت ضئيلة للغاية حتى بعد تفسخ نصف مواد المباشرة . ثم تضاءلت اهمية النتائج أكثر ازاء الحقيقة ان الضوء الطبيعي أقل استقطابا من الضوء المستخدم في التجارب . ولم تكن الاختبارات مقنعة كتفسير لاصل الايسومرية التجسمية.

توجد في الطبيعة بلورات عديدة نشيطة بصريا ، منها على سبيل المثال بلورات الكوارتز اليمينية واليسارية ، وهذه البلورات تفقد نشاطها البصري عند الصهر أو الاذابة ، لكن الفقدان هذا لا ينشأ عن الجزيئات اللامتناظرة وانما عن الترتيبة اللولبية لسلاسل السيليكون الاوكسجين في البلورة (—O—Si—O—Si—) •فقـام هارادا[١١] (Harada) باستخـدام مسحوق الكوارتز النشيط بصريا لتصويب توجه تكوّن بلورات الحوامض الامينية، الا ان الانشطة كانت ضئيلة بحيث انها قاربت حدود الخطأ التجريبي.

من الممكن في الاحوال المتقنة (controlled) بعنايـة استحثـاث تبلـور تفاضلي للايسومرات البصرية من محاليل فائقة التشبع للخلائط الراسيمية أما بواسطة النثر او تلقائيا ، وقد امكن تحليل او فرز حامض الصـامورلك ، وحامض التفاحيك، وحامض اللبنيك ، والثريونين ، والهستيدين ، وحـامض

الغلوتاميك، وعديد غيرها بهذه الطريقة . يستخدم اسلوب النثر أو البذر (seeding technique) على هذا النحو في اليابان لاعـداد ايل-غلوتامات المونوصوديوم صناعيا (monosodium L-glutamate) . الا انه رغم ان هـذا الاسلوب يبدو رائقا للغاية، فانه من الصعب تصوره كأصل لنشأة النشاط البصري البيولوجي. فهو لا يبدي أي انتقاء تفضيلي لايسومر على ايسومر آخر، ثم ان الاحوال المختبرية مثالية أكثر مما يمكن اعتباره وسطا طبيعيا.

لقد طرح ان النشاط الاشعاعي الطبيعي ربما كان عـاملا مساهما في الانتقائية المجسمة (stereo-selectivity) لدى المتعضيات البدائية[١٢]، وقام أم كـولدهـابر[١٣] (M. Goldhaber) وآخـرون بالتـدليل على تقطب الكترونات تفسخ بيتا (beta-decay electrons) المنبثة من (^{60}Co) بالالتفاف في اتجاه واحد . ولا يستبعـد عقلانيـا ان تكون لا تماثليـة (dissymmetry) هذه الجسيمات البدائية قد أثرت في الجزيئات بقوة فيزيـائيـة لا تناظرية (asymmetrical) . وفي مقالة حديثة في (أصـل الحياة (Origin of Life اقترح ايج بي نويز (H.P. Noyes) ودبليو أي بونر (W.A. Bonner) وجيه أي توملين (J.A. Tomlin)من جامعة ستانفورد ، انه من الممكـن أن تكـون الكترونات تفسخ بيتا من الكربون اربعـة عشر في الحـوامض الامينية (^{14}C in amino acids) قد اظهرت بعض التحطيم الانتقائي للدي ايسومر (D-isomer) ، غير انه يبدو ان هذا التفاعل يعمل على اللوسين فقط، كمـا انه من المشكوك في ما اذا كانت وتيرة التحويل سريعة بما يكفي لتجـاوز قدر الريسمة او الترسيم (racemisation) .

ليست الايسومرية البصرية في الحوامض الامينية والسكاكر تضريسة

مستقرة مطلقاً، وعندما تترسم (isomerise) الايسومرات البصرية تفقد نشاطها بالتوازن نحو عدد مساو من كلا الايسومرين • كما ان الحوامض الامينية النشيطة بصريا تترسم من خلال تآين الفا ـ هيدروجين (hydrogen) بوتيرة مستقلة عن مستويات (يدٔ) ما بين (٣) و(٨)، ولكنها تتأثر بدرجة الحرارة • وانصاف اعمار الايسولوسين، والالانين ، والفنيل الانين ، تبلغ على التوالي (٣٥٠٠٠) سنة و(١١٠٠٠) سنة ، و (٢٠٠٠) سنة في درجة حرارة (٢٥°) مئوية[١٥]•

ان الصعوبة في المحاولات لايجاد تفسير ما قبل الحياتي للنشاط البصري تكمن في أن جميع الاحوال المعتقد انها كانت متواجدة في البيئة البدائية تحبذ رسمة الايسومرات البصرية وليس مراكمتها• وعليه لابد ان المتعضيات البدائية تبنت اسلوب الانتقائية المجسمة بكيفية ما، وبسبب فائدة ملازمة له انتشر في جميع اشكال الحياة على الارض•

ولا يحتاج المرء الى التوغل في اعماق البيولوجيا الجزيئية ليبحث عن الجواب، فانه يمكن تشييد حامض نوويك مزدوج الوهن تناسخي أما من جميع الدي ـ ريبوتيدات (D-ribotides) أو من جميع الايل ـ ريبوتيدات (L-ribotides)، الا انه لا يمكن تشييد بنية انتظامية من خليط من الاثنين[١٦]• يتطلب التغيير من دي ـ الى ايل ـ بيتا ـ يوريدين (from D- to L-Beta-uridine) قلب كل بديل في مستوى حلقة الريبوز• فاذا أجريت محاولة لدس ايل ـ بيتا ـ يوريدين في لولب حامض النوويك مزدوج الوهن، فانه سيظهر ان ثلاثي وخماسي تكافؤ الهيدروكسيلات (3'-and 5'-hydroxyls) لا تترابط على الوجه الصحيح مع النوويتيدات المجاورة•

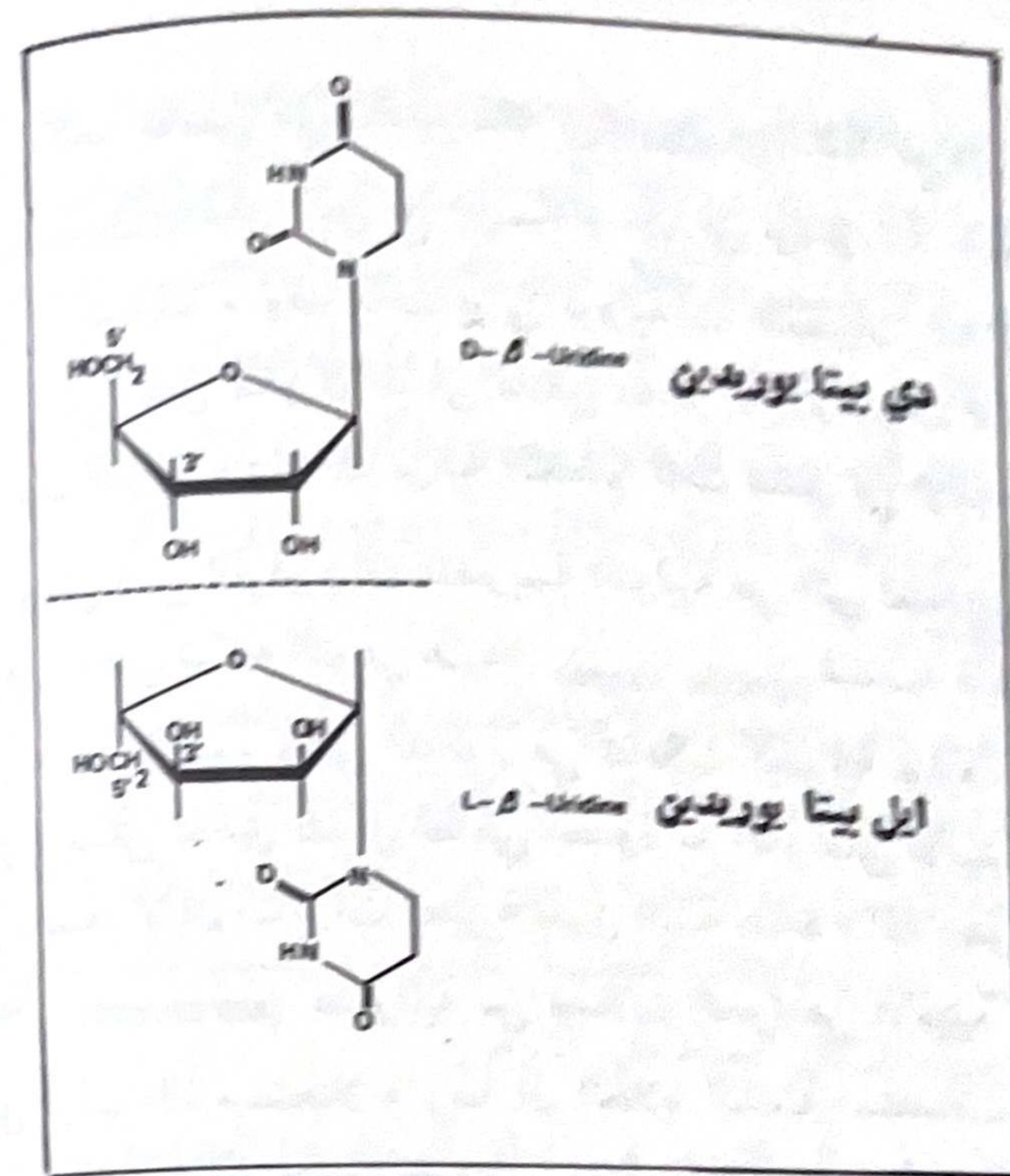


يتكثف حامض دي ـ ادنيليك (D-adenylic) المنشط مع دي ـ ادنوسين (D-adenosine) ولكن ليس مع ايل ـ ادنوسين في مرسومة حامض بولي ـ دي ـ يوريديليك • وقد كانت بولي نوويتيدات المتعضيات البدائية نشيطة بصريا ليس بفعل تكوّن طبيعي غامض محيّز لايسومرات معينة، وانما فقط لأن البولي نوويتيدات نوعية التجسم كانت لتعمل في الآلية الجينية.

وعلى نفس الغرار ، ان التضريسة اللولبية هي التي تمنح البروتين شكله النوعي• وعلى شكله النوعي هذا (specific shape) تعتمد قابليته للانحلال وقدرته على التبلور وعلى الدخول في تفاعلات كيميائية نوعية مع جزيئات اخرى• يمكن تحقيق تشكل تطابقي محدود مع الحوامض الامينية التي ليست بصريا نقية، الا ان التأثيرات الحيزية تعوق البنية بشدة • انما يبدو أن تنويعة متسقة (assortment) عشوائية من فضلات الحوامض الامينية ايل ـ ودي ـ تجعل لولب الفا مستحيلا • وربما ان الخلايا الناشئة استدمجت الحوامض الامينية الايل ـ فقط عندما حصل تمثيل الهضميتيد بترجمة البولي نوويتيدات المتجانسة التجسم، وكانت فقط الحوامض الامينية من نفس التوجه الحيزي لتتراصف على الوجه الصحيح لغرض التكثيف • (ملاحظة: توجد استثناءات للتجانسية التجسمية في المنتوجات الطبيعية • فمضادات الحيوية من غراميسيدين وتايروسيدين gramicidin, tyrocidine وغيرها هي هضميتيدات مع الحوامض الامينية دي مدمجة في سلاسلها)•

جميع المنظومات البيولوجية على وجه الارض تستعمل نفس الايسومرات البصرية• الا انه يفترض ان متعضية تستخدم حوامض امينية من ايل ـ ريبوز ودي ـ ريبوز كانت ستعمل بنفس الفعالية كنظائرها التي تطورت • فاذا كانت المواد ما قبل الحياتية راسيمية لماذا اذن لم ينشأ كلانوعي





المتضيات؟ في الحقيقة لا يسعنا الا أن نحدس ان الخلايا البدائية التي استخدمت دي-ريبوز نشأت قبلا وكانت تملك ما يكفي من القدرة للقيام بتمثيل العديد من مكوناتها قبل ظهور أي من اضدادها٠

حصلت محاولات لتمثيل ظهور الخلية الاولى بمثابة «حرب» بين المتقابلين (antipodes) البصريين على خزين المواد ما قبل الحيوية ٠ ألا ان هذا يبدو غريبا لأنه لم يكن أي من الصنفين ليستخدم ايسومرات الآخر٠ انما بالاحرى يبدو أكثر معقولية انه نشأ صنف واحد من الخلية البدائية وأن الحوامض الامينية والسكاكر التي قامت بتمثيلها انزيماتها النشيطة بصريا لم تلبث أن انتشرت بسرعة وطغت على جميع المواد البيولوجية بصنف نشاطها البصري٠

وعليه ، اذا كانت جوهريا جميع المادة العضوية على الارض من أصل حيوي، فان مقدار المادة العضوية ما قبل الحيوية التي تواجدت على الارض البدائية، ربما مبالغ فيه الى حد كبير ٠ وقد أشار هارولد بلوم[١٧] (Harold Blum) أنه اذا كان كل الاوكسجين على الارض يعادل مقدارثاني اوكسيد الكربون الذي تم تمثله في الكربوهيدرات، فان هذا يساوي 4×10^{19} مولة (أي جزيئي غرامي)٠ وبوتيرة التأيض الحالية، بدون مزيد من التجديد بالتمثيل الضوئي، ستدوم المواد العضوية كامدادات غذائية لما يناهز ثلاثة آلاف سنة فقط، ولما كانت وتيرة الاستعمال الحالية أسرع بكثير منها في الازمنة البدائية، فان تقديرا تقريبيا لمدة فترة تواجد الحياة البدائية قبل نشأة التمثيل الضوئي لا يمكن ان يقع في أكثر من بضعة عقود من آلاف السنين٠

يوحي هذا التقدير الى أن التمثيل الضوئي ظهر قريبا جدا من بداية الحياة ٠ كما انه ايضا يدل على انه لم يكن يوجد أي تراكم هائل من المادة العضوية ما قبل الحياتية على الارض البدائية لادامة الحياة لأي فترة من الزمن٠ لم يكن يوجد أي «حساء بدائي» اسطوري ما عدا على نطاق محلي ضيق٠ بدأت الحياة بتراكم ضئيل من الطلائع واستمرت في البقاء فقط بصيروروتها ذاتية الادامة٠

اقدم الاحافير المجهرية

التأيض الانزيمي

نشوء الانزيمات

التمثيل الحيوي الهضميتيدات

نشوء مسلسل آر ان اي ناقلة

آر ان اي ناقلة تظهر

نمو ضوء تمثيل بدائي

اللاميوسومات تُغلف البولي نووتيدات

البولي نووتيدات والهضميتيدات تتكون

انتاج لبنات بناء الحياة

جو ثانوي يتكون

اصل الارض

الشكل ٢/٢٥ – توالي الاحداث المفترض انها افضت الى تكون خلية مجهرية بيولوجية. فقط اصل الارض وعمر اقدم احفورة مجهرية مؤرخان مختبريا .

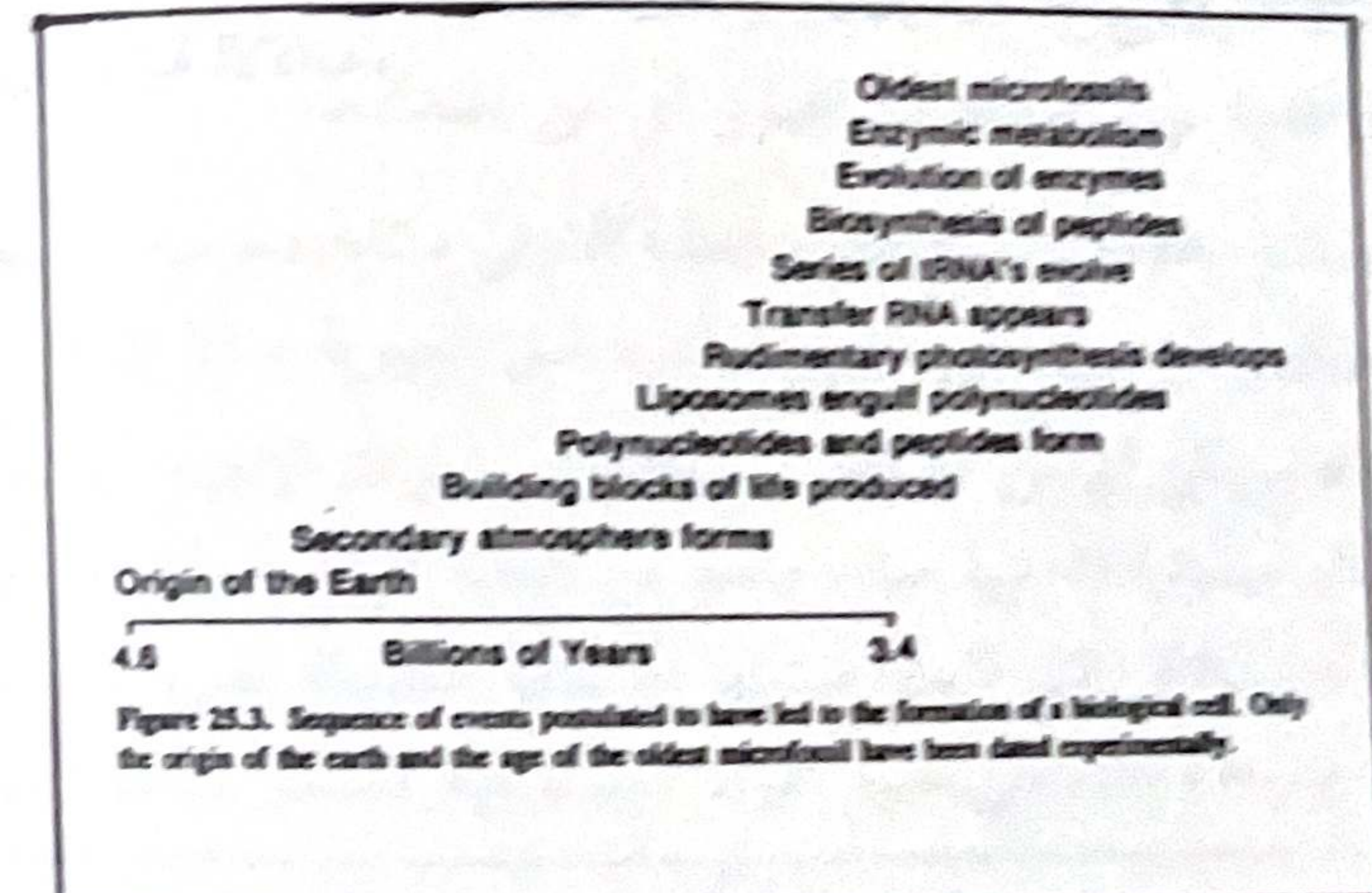


Figure 25.3. Sequence of events postulated to have led to the formation of a biological cell. Only the origin of the earth and the age of the oldest microfossil have been dated experimentally.



الفصل السادس والعشرون

طرائق اخرى ، اماكن اخرى

ان العقبة الكبرى في رسم كيف بدأت الحياة كانت نجاح تطورها بذاته. فان كفاءة تعقدية أي كائن حي، حتى ابسط متعضية مجهرية، رهيبة مهولة لدرجة انها قد خلقت الفكرة ان الحياة لم يكن يمكن أن تتواجد الا بشكلها الحالي. ان صورة آلاف الجزيئات العملاقة متوافقة منسجمة بتناغم تام دقيق في عبوة أصغر بكثير مما يمكن رؤيتها تنشأ بلا عون من مواد بسيطة وتصبح حياة كاملة تبهر العقول . مع ذلك، نظرا لضخامة طول الزمن الذي تواجدت خلاله الحياة على الارض، فقد استلزمت النشأة حصول تغيرات متوالية في بروتينات فردية على فترات تبلغ بضعة ملايين من السنين بين تغير وآخر. ان الصعوبة في الأمر هي ان أفكارنا مقتفلة في حجم وزمن عالمنا الحالي. انما فترة عمر الفرد ، وعمر الحضارة ، والفترة منذ ان اصبح الانسان نوعا ، ليست سوى لحظات عند مقارنتها بالثلاثة آلاف مليون سنة التي استغرقتها الخلية البدائية للتطور الى مستوى السمك الهلامي. بقيت الحياة بمستوى متعضيات مجهرية احادية الخلية طوال ثمانين بالمائة (٨٠٪) من مجموع زمن تواجدها على الارض.

بارتباطها ارتباطا وثيقا مقفلا بنشأة الارض ذاتها، تحصل الحياة مرة واحدة فقط. ذلك لأن المواد ما قبل الحياتية التي افضت الى بداية الحياة امكن تكونها فقط في الاحوال الاختزالية السائدة في الجو البدائي، وظهرت اليوكاريوت فقط بعد تطور مديد للبروكاريوت وبالاستجابة مع اكسجة البيئة ، وتسنى ظهور المتعضيات المتعددة الخلايا فقط بعد تجاوز تركيز الاوكسجين الطليق في الجو لنقطة باستور ، وجاء استيطان القارات بعد أن نشأت طبقة الاوزون في أعالي الجو كدرئية واقية لحجب الاشعاع



ما فوق البنفسجي•

وما ان جاءت الحياة الى الوجود، فانها لم تملك من نفسهـا الا ان تواصل السير في اتجاه واحد، قدما من البسيط الى المعقد • وقوى الانتقاء الجانحة الى التنوعات الافضل تمكنا من ضمان استبقائها وتناسخها حملت الحياة الى أمام• وكانت نتيجة ذلك الانتقاء التوجه قدمـا الى كفاءة وقدرة أعظم باطراد• فيما عبرت المتعضيات مرحلة الخلية البدائية من التعقيد كف كيانها عن كونه فطريا ذاتيا في بنيتها الكيميائية وارتبط ارتباطا وثيقا ومقفلا بالمكونات النوعية التي تبرمج تمثيلها جينيا في تركيبة الخلية • وعندما بلغت المتعضيات هذه المرحلة انقطع عنها خط الرجعة ، ولم يكن بوسعها الا المضي قدما • كانت الحياة الآن قد آلت الى وتيرة الرتابة حيث لا يمكن لخليـة النشوء الا من خلية حية سابقة • (ملاحظة: يبدو ان الفيروسات والريكيتسيا تطورت بعكس هذا المبدأ، لكنها على ما يظهر اشكال ممسوخة ، بدلا من اصناف اكثر تطورا)•

وعندما بلغت المتعضيات مستوى التعقيد حيث لم يعد معه الالتئام الذاتي ممكنا، ابتنى شبح الموت واصبح جزءا من الحياة• استلزم نمو التعقيد اتحادا تاما• ومع كل خطوة في التطور ، حيثما تفكك التئام مقومات الخلية ، أصبحت فرص التئامه ثانية في وحدة وظيفية اقل احتمالا ، وأصبحت الحياة المفقودة حياة لا تستعاد ، وارتهن استمرارها بنقلها الى أجيال جديدة•

ان لبنات البناء للمنظومات البيولوجية هي النووتيدات ، والحوامض الامينية ، والكربوهيدرات ، والدهنيات ، وتتألف الريازة من بوليمرات شبه مسلسلة من هذه الوحدات ملتئمة معا في كيان خلوي متكامل التوافق • بقيت اللبنات هي نفسها ، لكن البوليمرات نمت وتنوعت ، منتحتة بفعل تغير التبدل الطفري وضغوط الانتقاء الطبيعي • أما الانزيمات ، التي تعمل طبيعتها على تحديد وتثبيت الخواص الفيزيائية والكيميائية للمتعضية ، فقدواصلت التعرض لفعل التغيير التطوري، مواكبة مبدأ الاستمرارية باتباع كل خطوة في التطور بسابقتها في زحف مطرد منذ ما يقرب من اربعـة آلاف مليون سنة•

كانت النتيجة ان المتعضيات احتفظت بطبيعتها الجوهرية ولكنها انقسمت وتطورت الى تنويعات شتى هائلة بغية استغلال جميع المصادر الكيميائيـة والطاقوية ، والاشكال المختلفة المتضاربة والبشعـة الى حـد اللامعقول للحشرات والاحياء المجهرية تشهد على الهيئات التي تستطيـع الحيـاة ان تتخذها لبلوغ هذا الهدف • كما ان الاحوال التي تتمكن المتعضيات الاعتياش فيها ومواصلة البقاء في بقعة بيئية مذهلة حقا• فبوسع الطحلبة سيانديـوم كاليداريوم (calidarium cyandium) في محاليل مركزة من حامض الكبريتيد الحار ، ويقال ان بوسع البكتيريا المنتجة للكبريتات ان تنمو وتتكاثر في درجات حرارة تبلغ (١٠٤°) مئوية تحت ضغوط عالية ، والعديد من المتعضيات

تستخدم مقاومات تجمد عضوية ولا عضوية لتخفيض نقطة التجمد لسوائلها الباطنية ليتسنى لها العيش في عدة عشرات من الدرجات تحت الصفر المئوي. بعض الحشرات تستعمل كبريتوكسيد الدايمثيل (dimethyl sulfoxide) كمضاد للتجمد.

وعليه ، ان البيئات التي تستطيع الحياة والتواجد فيها متطرفة ومتنوعة، والامثلة العديدة توضح قدرة المنظومة البيولوجية على التكيف من خلال الانتقاء من التنوع في الانزيمات والعمليات المشتقة منها . ومع ذلك، فجميع اشكال الحياة المختلفة هي في الاساس واحدة نفسها، تستخدم حوامض النوويك كمخزنها للمعلومات وتستخدم الانزيمات لتحفيز تحويلاتها الكيميائية . كما ان لبنات البناء متطابقة نفسها ايضا، انما تختلف المتعضيات في البنى المركبة منها فقط.

وبالنتيجة ، عندما تتأمل امثلة الحياة ، نجد انه يوجد واحد منها فقط.

ان المسألة هي ما اذا يوجد مثال واحد من الحياة لأنها تستطيع التواجد فقط في شكل واحد، وعليه فهي فريدة فذّة ، أم ان هذا هو الشكل الذي تخلف في البقاء من بين عدد من الاشكال الممكنة كان بوسعها التواجد فيها . سبق لنا ان تأملنا الفكرة ان المتعضيات تستخدم الحوامض الامينية ايل الفا (Lamino acids) وسكاكر دي (D-Sugars) ، لكن ليس ثمة مبرر لعدم تكونها من حوامض امينيـة دي الفا (D) وسكاكر ايل (L-) . كما كان بوسع المدونة الجينية (genetic code) ايضا ان تتألف من تشكيلات أخرى بدون التضحية بأي قدر من الكفاءة والفعالية . توجد حالات حصل فيها انتقاء ليس من جراء فائدة تجنى، وانما بسبب امكان استعمال متقابل قطبي (antipode) واحد ومدونة واحدة فقط، وأملت الاختيار في حينها الظروف



المحيطة . غير انه ما ان التأمت الخلايا الحية حتى اصبحت جميع الكائنات الحية مرتبطة في صنف واحد من المنظومة البيولوجية طوال بقية تواجد حياتها.

هل كان يمكن أن تبدأ الخلايا البدائية بصورة مختلفة ؟ تقول ميري ايلين جونز (Mary Ellen Jones) من جامعة براندايس وفريتز لبمان (Fritz Lipmann) من معهد روكفيلر انه كان بامكان المتعضيات الحيـة الاولية أن تستخدم البولي فوسفات اللاعضوية بدلا من الأتب (ثلاثي فوسفات الادنوسين) لاستحالة الطاقة (energy transformation) . فاذا كان البيروفوسفات قد سبق الأتب كمركب الفوسفات الاولي الغني بالطاقة ، فانه من الممكن ان تتواجد بقايا تآيضية من هذا الصنف بين الاصناف البدائية من المتعضيات على قيد الحياة اليوم. وبالفعل ، وجد ان الامر كذلك، فقد اكتشف آي أس كوليف(٢) (I.S. Kulaev) وجود بكتيريا وفطريات تتضمن انزيمات تقوم بتحفيز تمثيل البيرو فوسفات اللاعضويـة بـدلا مـن الأتب، ووجد بالتشفسكي(٣) (Baltscheffsky) ثمانية تفاعلات تشمل بولي فوسفات لا عضوية في البوصيات الملونة او الكروماتوفور (chromatophores) عند البكتيرة رودوسبريلوم روبروم (Rhodospirillum rubrum) ، وهي بكتيرة ضوء تمثيلية. فاذا كان البيروفوسفات قد استخدم قبل الأتب في التآيض الخلوي فانه ربما كان قد اهمل من جراء قدرة النووتيدة على اقامة علاقات ارقى وأكثر نوعية مع الايضات الخلوية ، اضافة الى قدرة الأتب على انجاز وظائف أخرى بعيدة عن متناول البولي فوسفات اللاعضوية.

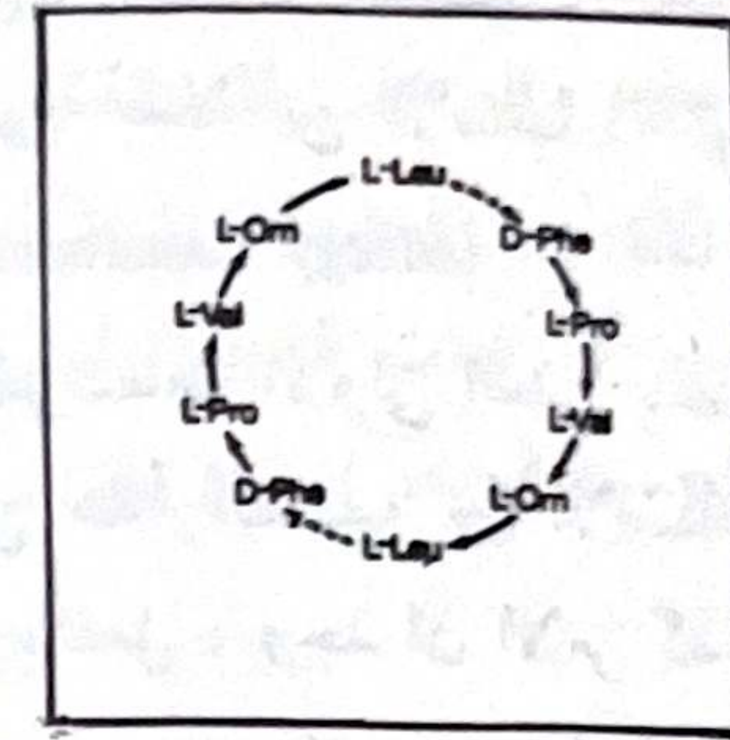
هناك فكرة أخرى تفيد ان ربما كان يتم تمثيل الهضميتيدات البدائية بطريقة سبقت تمثيل البروتين الريبوسومي حيث سياق الحوامض الامينية مدون



في سياق قاعدي لحامض نوويك • ان الغلوتاثيون وحامض البولي غلوتاميك (Glutathione, polyglutamic acid)

L-Glutamyl-L-cysteinylglycine=Glutathione).

ـ٦/ = كاما ـ ايل ـ غلوتاميك ـ ايل ـ سيستينل غلايسين) هما هضميتيدتان غير مدوتين(٤)، مثلماهما الغراميسيدين اس والتيروسيدين (gramicid S, tyrocidine) مثلماهما عقاران ضد الحيوية الميكروبية.



الشكل ٢/٢٦ - بنية الغراميسيدين اس.

يتألف الغراميسيدين اس من هضميتيدة عشرية دائرية (cyclic decapeptide) تضم سلسلة مكررة من خمسة حوامض امينية مختلفة تشمل الدي ـ فنيل ألانين (D-phenyl alanine) والاورنثين (ornithine) اللذين لا يتواجد كلاهما في البروتينات. واكتشف لبمان وزملاؤه(٥) ان كسرين انزيمين متحدين من البسيلاس بريفس (Bacillus brevis) يقومان بتمثيل الهضميتيدة العشرية هذه عند تغذيتهما بالأتب والمغنسيوم ++ (ATP, Mg++) وخمسة حوامض امينية.

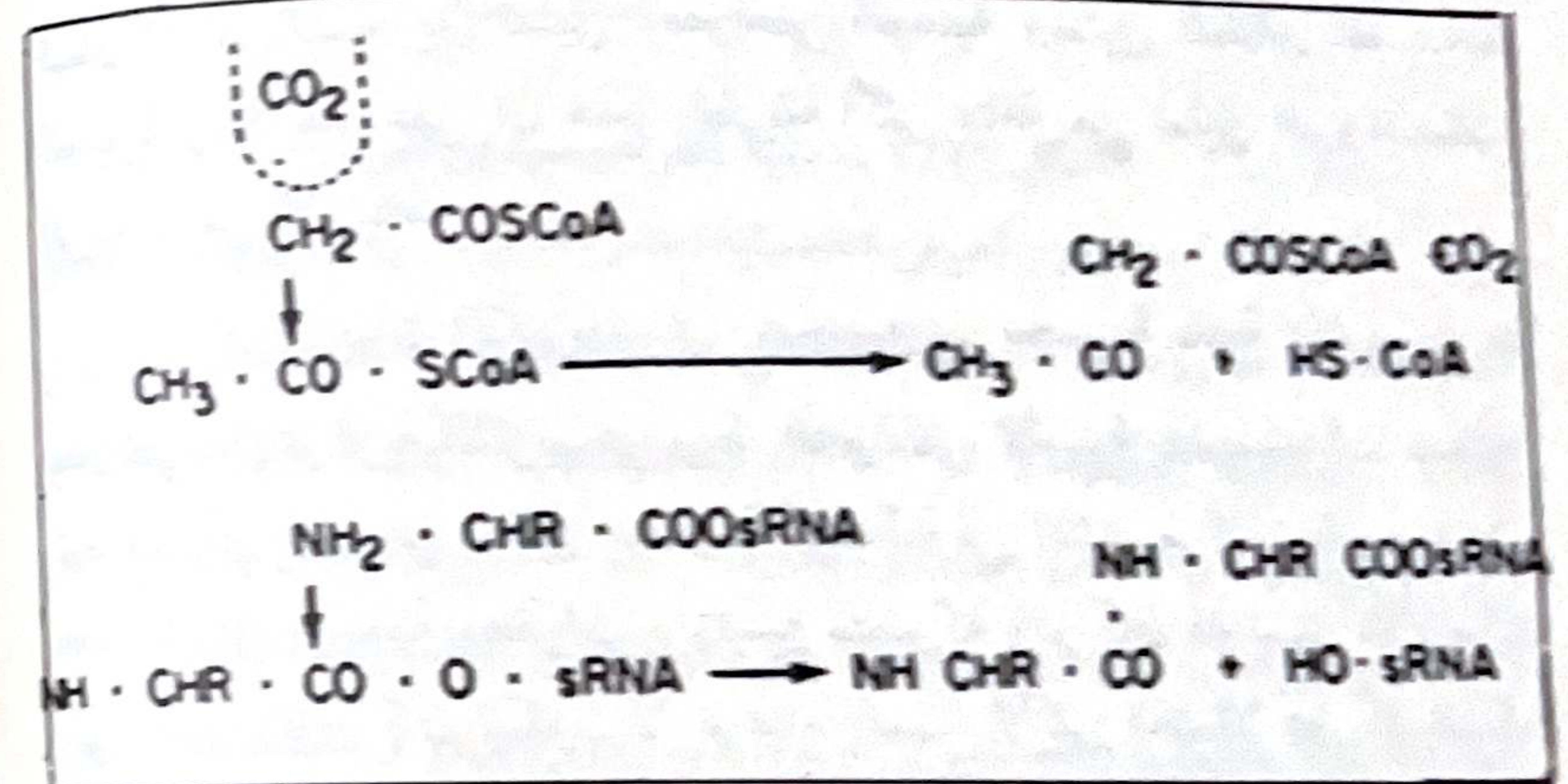
يبدو ان الهضميتيدة الخماسية (pentapeptide) تتكون بآلية مماثلة للطريقة التي يتم بها تمثيل الحوامض الدهنية • ولتمثيل الحوامض الدهنية (fatty acids) يتم تكثيف واختزال مشبوكات الانزيمة المساعدة أ ـ استيل ـ اس (acetyl-S-coenzyme A complexes) أثناء بقائها مرتبطة بالجهاز المتعدد الانزيم• وقد وجد لبمان انه يتم تمثيل الهضميتيدة الخماسية للغراميسيدين بطريقة مماثلة ، ابتداء بالدي فنيل الانين متبوعا على التوالي باضافة البرولين، والفالين، والاورنثين، واللوسين ، وينجز تمثيل الغراميسيدين بارفاق سلسلتين في جزيئة الهضميتيدة الخماسية الدائرية • كما تقوم البكتيريا بانتاج التيروسيدين بنفس الطريقة(٦)• لكن البولي هضميتيدات التي يتم تمثيلها بهذا الاسلوب محدودة الطول، واطولها هي المضادات للحيوية ذوات السلاسل المستقيمة المتألفة من خمسة عشر (١٥) حامضا امينيا•

بما ان تمثيل الحوامض الامينية جوهري الضرورية للغشاء الخلوي فلابد انه يعود الى أقدم اشكال التمثيل الحيوي لدى الخلايا البدائية • ويقترح لبمان(٧) أن الشبه بين تمثيل الحوامض الدهنية وتمثيل العقاقير المضادة للحيوية ربما يدل على ان هذه الطريقة أكثر عتاقة من تمثيل البروتينات الريبوسومي الارتباط•

الا أن انزيمات الكبريهدريل (sulfhydryl) مجموعة عادية ولا يوجد ما يدل على ان نوعوية الانزيم في ربط الحوامض الامينية بهضميتيدات صغيرة تختلف بأي وجه عن ارفاق مجموعة كيميائية في تمثيل مركبات أخرى• يتم هذا التفاعل بوساطة محفزات بروتينية مشبوكة ولو كان قد سبق الانزيمات الى الظهور فانه كان ليكون لا نوعيا• انما الأكثر احتمالا هو أن هذا التمثيل اللاريبوسومي لا يسبق الانزيمات بل ان البكتيريا طورته لاضفائه فائدة ما بجعل تمثيل العقاقير المضادة للحيوية يتم في موقعه في جدار الخلية أو مكان مماثل بواسطة الأنزيمات.

بالرجوع خطوة أقدم في الزمن يمكننا المساءلة اذا كان يمكن أن تكون الحياة من لبنات بنائية غير النوويدات والحوامض.

في بادىء الأمر استلزم قيام أقدم الخلايا توفر طريقة للتناسخ الجزيئي لكي تكون حية جينيا. كما استلزم أن يكون الاساس بنية كيميائية تتماسك بوحدات كيميائية أخرى على نحو متسق اثناء تكاثفها لخلق نسخة من ذاتها ، ولزم أن يكون الترابط قويا بما يجعله وظيفيا ولكن ايضا ضعيفا بما يتيح للنسخ أن تنفصل بعد الانتساخ. اضافة الى كل هذا، لكي تعمل المادة الجينية بمثابة المركز المعلوماتي لجميع المكونات الخلوية في متعضية حية أيضا، لزم أن تتألف من عدة وحدات، أي انه توجب عليها أن تضم قطعا معلوماتية عديدة في باطن جزيئة كبرى.



الشكل ٣/٢٦ ـ مقارنة بين تمثيل الحوامض الدهنية وتمثيل الهضميتيدة اللامرموزة.



يتألف أساس المادة الجينية للحياة على الارض من البيورينات والبريميدينات مع اربطتها الهيدروجينية . لكن هذه الكيميائيات لوحدها تعجز عن اداء جميع المتطلبات نظرا لعدم قدرتها على التكثف مع بعضها البعض لصنع البوليمرات، انما يمكنها التكثف مع السكاكر وهذه يمكن فسفرتها ، فتستطيع وحدات النوويدة الارتباط في اربطة اسهامية ثنائية الإيستر. غير ان ما يثير الاهتمام هو انه حتى بعد كل هذه العملية الشديدة التعقيد لصنع بوليمرات تتضمن قواعد دائرية لا تجانسية ، لا تقوم البولي نوويدات بصنع النسخ مباشرة بل انها تصنع «السوالب» (negatives) فقط، وهذه تعمل كمرسومة (template) تؤخذ النسخ عنها.

تبدو هذه طريقة معقدة ومتواشجة للغاية ، ولكنها واصلت البقاء وتبنتها الخلايا البدائية لسبب واحد هو انه يمكن نسخ أو نقل بنية البولي نوويدة ليس فقط الى بولي نوويدة أخرى وانما يمكن ايضا ترجمتها الى مواد كيميائية من طبيعة مختلفة ووظيفة مختلفة ، أي الى هضميتيدات التي تطورت الى محفزات شديدة القوة.

للوهلة الاولى تبدو الحوامض الامينية بأنها الاختيار المنطقي لتكوين الجزيئات المعلوماتية ، فهي متنوعة وتضم مجموعة كربوكسيل وامينية تتيح للوحدات الارتباط ببعضها البعض . غير انه رغم قدرتها على تكوين البوليمرات بطريقة اكثر مباشرة من البيورين والبريميدين، فانها تعجز عن القيام مقام الجزيئات المعلوماتية لتعذر استخراج المعلومات ، ولا تقوم سلاسلها الجانبية بالتفاعل بدقة بالطريقة التي تتسم بها القواعد. وكنتيجة ، لم تصبح عملية نسخ وترجمة البولي هضميتيدات ممكنة لدى المنظومات البيولوجية قط. (ملاحظة: يبدو ان العامل المسبب لداء العصب (scrapie) في الاغنام هو شكل تاسخي بحجم الفيروس يتضمن البروتين ولكن بدون حامض النوويك[8]، لا تزال



طريقة تكاثره رهن التحديس ، لكن جيه اس غريفث(٩) (J.S. Griffith) اقترح ان البروتين يعمل كمستضد (antigen) لاذكاء جسم مضاد (antibody) مطابق له تماما).

قامت الحياة بطبيعتها الخاصة البيولوجية المتألفة من البيورين والبريميدين والحوامض الامينية، لأن هذه كانت هي المواد الكيميائية المتوفرة على الارض ما قبل الحياتية . وتولدت السيانيدات (cyanides) بفعل الطاقة على الغازات البركانية للارض البدائية، فتكثف سيانيد الامونيوم بوجه رئيس الى بيورينات وعدد صفوة من الحوامض الامينية الألفاء. في الظاهر كان تكون البريميدينات ابطأ ولكنها كان يتم امتصاصها انتقائيا لتندمج في الاجهزة الوظيفية . انما الاكثر اعجابا في الامر هو ضآلة عدد الكيميائيات التي تكونت عن عملية التكثف ، وكانت رغم ذلك قواعد كافية لتوليف الخلايا التي أصبحت اشكال الحياة الذاتية الادامة.

فقط اربعة عناصر، وهي الكربون والهيدروجين، والنيتروجين والاوكسجين، تشكل ثماني وتسعين بالمائة (٩٨٪) من تركيبة البروتوبلازمة، وباستثناء الهيليوم، هذه هي العناصر الاربعة الاكثر غزارة في الكون، وعليه، لا يمكن أن تعزى نشأة الحياة الى عناصر نادرة ، ولا تتألف لبنات البناء من مركبات غير اعتيادية، بل انها تتكون بسرعة وسهولة من تكثيف السيانيد. ومن بين الستة والثلاثين (٣٦) عنصرا التي تستعملها المتعضيات ، وجد جيه ايج ماكليندون (J.H. McClendon) أن تسعة منها فقط جوهرية ، وهي الكربون ، والهيدروجين ، والنيتروجين ، والاوكسجين، والفوسفور ، والكبريت ، والمغنيسيوم ، والبوتاسيوم، والحديد. أما السبعة والعشرون الأخرى فليست جوهرية للحياة ولكنها اندمجت فيها لأنها كانت مفيدة وكانت متوفرة في البيئة بكميات كافية.

كما انه من بين التسعة عناصر الجوهرية المذكورة اربعة منها فقط، هي الكربون ، والهيدروجين، والنيتروجين، والاوكسجين، تتميز بفذاذية فريدة تجعلها لا يمكن الاستغناء عنها لتشييد بنية المنظومة البيولوجية . أما العناصر الخمسة الأخرى، أي الفوسفور ، والكبريت، والمغنيسيوم، والبوتاسيوم، والحديد، فان خواصها الكيميائية في الاحوال الارضية تجعلها جوهرية لكيميائيات الحياتية المتطورة . الا ان هذه الخواص لا تقتصر استثنائيا على هذه العناصر فقط وانما تتواجد لحد ما ايضا في عناصر أخرى منتسبة اليها. فانه من المعقول ، في بيئات كيميائية مختلفة ان تنشأ منظومة بيولوجية حيث يأتي الزرنيخ بديلا للفوسفور ، والسيلينوم للكبريت ، والمنغنيز للمغنسيوم، والروبيديوم للبوتاسيوم، والكوبلت او النيكل أو الفناديوم للكبريت .

أما الكربون، فهو عماد الحياة الرئيس، فهو بقدرته العجيبة على الارتباط مع العديد من العناصر بما فيها ذوات الكربون الأخرى، وتشكيل تنوعة رهية هائلة من التوليفات ، يعلو على جميع العناصر الأخرى قاطبة بصفته مكون صروح المنظومات البيولوجية . وهو جوهري يستحيل الاستغناء عنه وشائع بحيث يخال للمرء أن الحياة مبنية على الكربون حتما. ورغم ذلك، يوجد عنصر آخر ايضا كثير الشيوع على الارض ويملك القدرة على ربط نفسه وعناصر أخرى في سلاسل طويلة وتوليفات مختلفة شتى مثل الكربون الى حد كبير، ، وهذا هو العنصر سيليكون (Silicon) .

بوسع السيليكون ان يكون مركبات سلاسل (س-س) (Si-Si) لكن هذه أقل استقرارية من نظائرها الكربونية ، اذ تبلغ قوة الرابط كربون-كربون ديناحراريا او ثرموديناميكيا زهاء ضعف قوة الرابط سيليكون ـ سيليكون. من جهة أخرى يملك السيليكون الفة شديدة للاوكسجين ، وتشكل سلاسل (Si-O-Si-O) المستقرة للغاية الصفائف البلورية للكوارتز

وفلزات أخرى عديدة • يتحد الكربون ايضا مع الاوكسجين بسهولة ، لكن الناتج يختلف تماما • اذ بينما ثاني اوكسيد السيليكون يشكل مكونا للرمل، يشكل ثاني اوكسيد الكربون غازا، وخاصية التطاير في المركبات الكربونية هي التي أفضت الى تركيز الكربون في النطاق المائي والجوي للارض•

لا يمكن أن يكون السيليكون اساسا صحيحا للمنظومات البيولوجية ابدا، انما توجد فرضية تفيد لربما أن فلزات السيليكون لعبت دورا في نشأة الحياة• يقول أيجي كيرنز سميث (A.G. Cairns-Smith) من جامعة كلاسكو أن باعتقاده أن الخلية الوظيفية كانت لتكون اكثر تعقيدا من أن تلتئم من لبنات البناء ما قبل الحياتية ضمن فترة معقولة من الزمن وفي الظـروف العادية ، ويطرح بدلا من ذلك أن الحياة نشأت بواسطة الانتقاء الطبيعي من بلورات لا عضوية•

عندما تتشكل البلورات تظهر العيوب كثيرا في الشبكية وتتنسخ هذه في تبلورات أخرى، وبما ان تناسخ هذه العيوب ذاتي الانتقاء، فانه يمثل تناسخا لا يختلف عن تناسخ الحوامض النوويك• وفي الحقيقة بوسع العديد من انواع البلورات ، من حيث المبدأ أن تستوعب قدرا كبيرا من المعلومات، ويمكن أن تكون الكثافة المعلوماتية في بلوريت (crystalite) الصلصال الغرواني مدانية لنظيرتها في الدنأ DNA •

يحاجج كيرنز سميث انه كان بامكان بلورة كجينة بدائية أن تتحكم في تطور الجزيئات الكبرى العضوية من خلال التصاب الجزيئات العضوية بها• كانت نشأة الجينوغرافات (geneographs) البدائية لتتم من خلال التطـور الدقيق الانتقائي الذي تضمن خاصية تواصلية لبلوريتات الصلصال الذي احتواها، وأخيرا يعتقد أن المتعضية الاولى ظهرت بفعل استحـالة جينيـة

(genetic metamorphosis) فيما تولت الجزيئات الضخمـة العضويـة بالتدريج آلية التحكم ونبذت البلوريتات•

رغم ان الكيميائيات التي قامت منها الحياة عادية ، فربما ان ظروف تطور الارض كانت غير عادية للغاية • كان حجم الارض وبعدهـا عن الشمس ذا خطورة دقيقة، فان الحرارة المتولدة من تفكك العناصر المشعة، بعدم قدرتها على التبدد في الفضاء، هي التي حملت الارض خلال تطور حراري، وبنفس الاثناء محررة المتطايرات من الجوف وخالقة النطاق المائي والنطاق الجوي• وينفرد كوكبنا الارض هذا ، بين جميع الكواكب والنيازك والاقمار ، بكونه الكوكب الوحيد الذي يملك الماء بغزارة•

أما الزهرة، وهي الكوكب الاكثر شبها بالارض من حيث الحجم والمساحة، فانها احتبست في ظاهرة مستنبت اخضر فالتة واضاعت ماءها وكل فرص نشوء حياة افروديتية من جراء اشتداد حرارة سطحها بنسبة عالية • لكن المريخ، مع شواهد على تاريخ بركاني سابق، فيبدو أنه في عصر جليدي، والماء الذي كان مرة يجري على سطحه لا يزال باقيا محتبسا في قبعات قطبية جليدية • وما وراء المريخ والنيـازك تدور الكـواكب العمـلاقة ، المشتري، وزحل، واورانوس ، ونبتون • رغم ان هذه الكواكب الخارجية الاربعة اكبر بكثير، فانها تختلف عن الكواكب الارضية او الترابية (terrestreal) بشكل بارز في التركيبة الكيميائية، فهي تتألف تقريبا كليا من الغازات• يتألف المشتري من ثمانين بالمائة (٨٠٪) من الهيدروجين[١٢]، وزحل من ستين بالمائة (٦٠٪) ، مع تكون البقية تقريبا بالتأكيد من الهليوم، ورغـم ان اورانوس ونبتون يتضمنان مقادير من الكربـون ، والنيتروجين، والاوكسجين، فانهما ايضا يتألفان من الغازات المتجمدة والسائلة•

من الصعب تصور نشوء منظومات بيولوجية في غياب الماء، مع ذلك ربما توجد انحاء في المنظومة الشمسية تتضمن بيئة مائية أو ندية قليلة الشبه بالارض ولكنها ربما اعالت مراحل بدائية من الحياة • يتألف جو المشتري من الميثان، والامونيا، والهيدروجين، وهي الغازات البدائية التي بوسعها أن تفضي الى تكون مواد ما قبل حياتية • الا أن هذا الجو ليس متوحدا الانتشار وانما متراكبا في طبقات من التدرج الحراري• توحي الاحتسابات التي أجراها غاليت(١٣) (Gallet) الى انه ينبغي أن تتواجد منطقة من عواصف امطار الامونيا تحت سحب بلورات الامونيا المنجمدة ، وتوجد طبقة من الامونيا الغازية تحت نطاق تقطرات الامونيا • وتوجد طبقات أو تشكيلات جليدية بمسافة بضعة كيلومترات الى الأسفل من سحب الامونيا ، يليها ماء سائل وبخار الماء• ويقول كارل ساغان(١٤) (Carl Sagan) انه يمكن للمركبات العضوية المشتقة من الامونيا والميثان أن تتفاعل في هذه المنطقة لتفضي عن نشوء الجزيئات الاكبر الضرورية للحياة•

ولاختبار هـذه الفرضيـة قـام فريتز وولر (Fritz Woeller) وسيريل بونامبروما(١٥) (Cyril Ponnamparuma)) في مركز أيميز للبحوث باجراء التجارب حول التفاعلات في أجواء زحل مفتعلة بطريقة التفريغ الكهربائي• وبالفعل، تضمن الكسر المتطاير من التجربة طلائع العديد من المركبات البيولوجية، لكن بالاضافة الى المتطايرات انتج هذا التفاعل ايضا كسرا لا متطاير يتألف من بوليمرات برتقالية الى حمراء• وحدس وولر بونامبرونا ربما ان هـذه المادة البوليمرية هي المسؤولة عن لون البقعة الحمراء الكبرى في المشتري•

ان أكثرية العوالم الكبرى في منظومتنا الشمسية ليست كواكب، وانما اقمارا • يوجد ثلاثون قمرا تدور حول المشترى، وزحل، واورانوس، ونبتون،



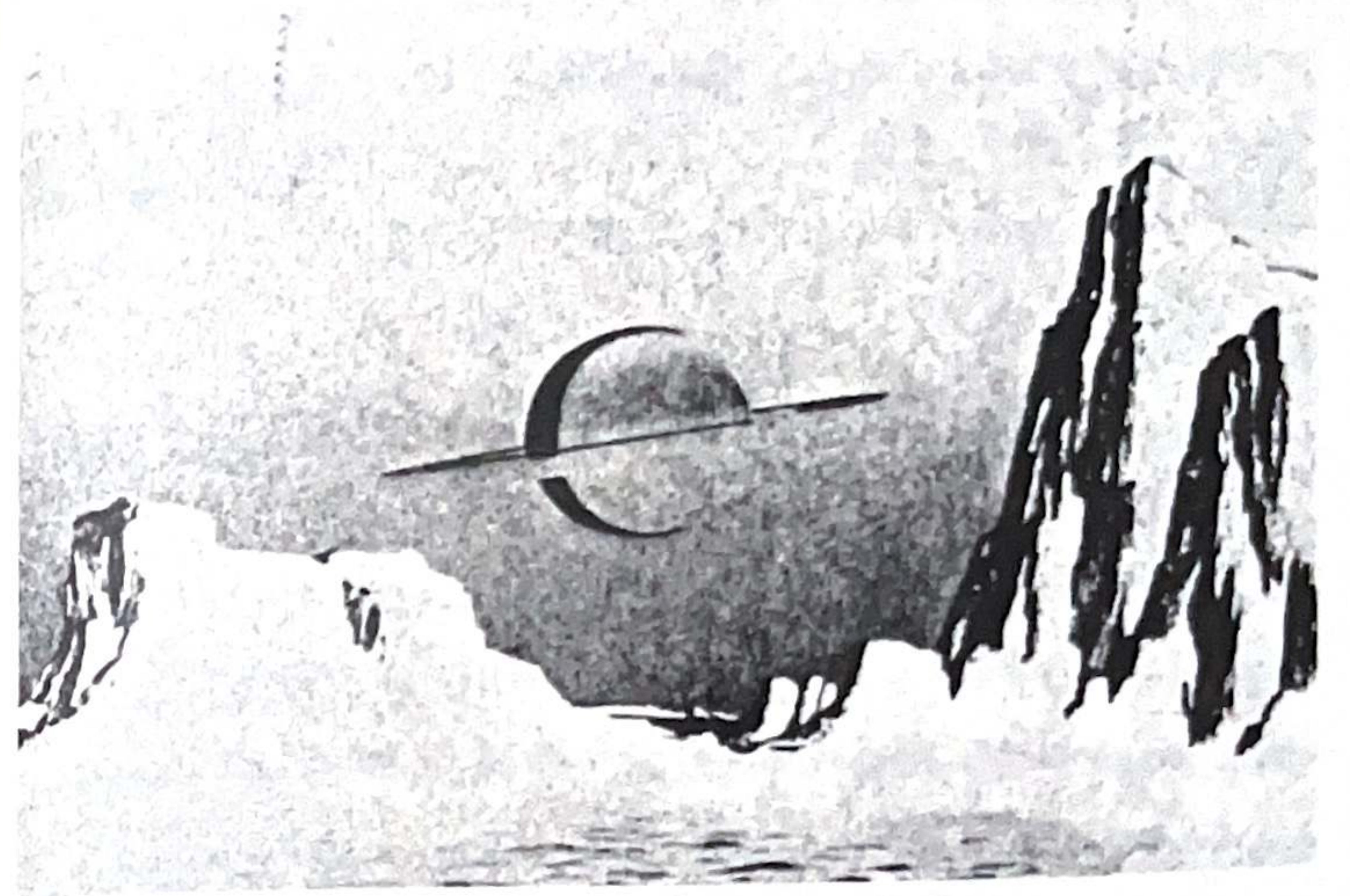
بعضها كبير جداء. كما ان رحلات المركبات ڤوياجر قد أدت الى اكتشاف اقمار عديدة غيرها• ثلاثة من اقمار غاليليو الاربعة التي تدور حول المشتري، وهي اوربا، وغانيميد، وكاليستو (Europa, Ganymede, Calisto) تضاهي في الحجم كوكب عطارد (الكوكب الاقرب الى الشمس) ، وكذلك هما قمر زحل التيتان (Titan) وقمر نبتون ترايتون (Triton) • ليست هذه كتلا ضخمة من الحطام كفوبوس وديموس (Phobos, Deimos) اللذين يدوران حول المريخ، وانما هي أجسام ضخمة كبرى بحجم قمرنا واكبر، كل منها عالم مختلف في نوعه، وبعضها يملك اجواء رقيقة ، وبعضها مغطى بالجليد • توجد في تلك الاكارع النائية من منظومتنا الشمسية اقمار كلية بكثافة الجليد واقطار بطول اميال عديدة، تدور حول الكواكب ككرات ثلجية ضخمة في الفضاء•

تملك الاقمار الاكبر كثافات منخفضة دلالة على مؤتلفات (composites) من مواد صخرية جليدية • ويحدس أن الحرارة من التفسخ الاشعاعي في جوف هذه الاجسام الكبرى أدت الى الذوبان وتسببت في استقرار السيليكات في اللب بمثابة اطيان مرصوصة مدمكة وشكلت قشرة رقيقة من الجليد تعوم على جبة سميكة من الامونيا والماء• يبدو ان بعض الاسطح تتألف كليا من الجليد بينما ربما يتألف غيرها من خلائط من هيـدرات جليـدية (ice hydrates) من الامونيا ، والميثان، ومواد مختلفة • تمثل هذه الاقمار طائفة جديدة كلية من العوالم ذوات تركيبات وبنى مختلفة، وتعد بطـائفة جـديدة كلية من الظواهر•

يبدو تيتان، وهو أكبر اقمار زحل، ان له جوا كثيفا نسبيا ، اكثف بعدة اضعاف من جو المريخ، مع سحب حمراء تحجب عادة سطح القمر • وقـد اكتشف فيه الميثان ، وربما ان الامونيا موجودة، ايضا، وعلى ما يبدو يوجـد



فيه قدر كبير من الهيدروجين. ان أثر الهيدروجين هو انه يخلق ظاهرة المستنبت الاخضر التي ترفع درجة الحرارة تقريبا الى مستواها الارضي. فاذا ثبت في النهاية ان المريخ عديم الحياة، فان المكان الآخر ضمن أسرتنا من الكواكب الذي ربما قد تفتق عن الحياة يقع على بعد الف مليون ميل من الارض في قمر زحل المسمى تيتان.



الشكل ٤/٢٦ ـ زحل، مرئيا من اكبر اقماره ، تيتان ، الذي يبعد عنه سبعمائة وستين الف (٧٦٠٠٠٠) ميل، كما تخيله الفنان تشيزلي بونيستيل.

نملك أفكارا عميقة الغور عما هي الحياة وما ينبغي أن تكون، وكل ذلك من مثالنا الذاتي الوحيد . وفيما نجوب ارجاء عوالم أخرى ربما اننا نعرض انفسنا لعديد من المفاجآت . لقد نشأت الحياة على الارض واتخذت طبيعتها

الخاصة لأنها كانت ممكنة من المواد ما قبل الحياتية التي توفر لها الزمن الكافي لتنتظم في منظومة بيولوجية . وبتوفر الزمن الكافي غدا محتما ما كان قبلا ممكنا. والزمن هو المعلم الحدي الذي اتاح للحياة الحصول ، فهو اشبه بكومبيوتر يسمح جميع الخلائط والتركيبات الممكنة حتى يجد حلا.

مع ذلك، مع مواد أخرى وبيئات كيميائية أخرى، تظل امكانية نشوء منظومات بيولوجية مختلفة جذريا قائمة . ربما ان الامونيا السائلة أكثر شيوعا في منظومتنا الشمسية وفي جميع ارجاء الكون أكثر من الماء السائل. فاذا تم تحري جميع امكانات حصول الحياة في الكون، لربما سيكون حصولها في الماء سائدا.

بينما يكون الماء سائلا بين درجتي الحرارة صفر الى مائة (٠ـ١٠٠°) مئوية ، تكون الامونيا سائلة بين درجتي الحرارة ناقصا ثماني وسبعين الى ناقص ثلاث وثلاثين (ـ٧٨° الى ـ٣٣°) مئوية في ضغط جوي قدره جو واحد. يملك الماء توترا سطحيا عاليا يجعله مثاليا لتكون الخلايا ذوات فواصل بينية دهون ـ ماء . لكن الامونيا اقل دبقا أو لزوجة بكثير ، والمواد القطبية أكثر ذوبانا في الماء مما في الامونيا ، وعلى سبيل المثال ان الكلوريد ، والكبريتات ، والهيدروكسيد ، والاوكسيد ، كلها غير قابلة للذوبان في الامونيا.

لكن لما كان مثالنا الفريد المعلوم من الحياة قد نشأ كمنظومة بيولوجية متكيفة لبيئة مائية ، فانه بطبيعة الحال تبدو خواص الماء لنا مثالية الى أقصى الحدود. لكن شكلا من السمك يسبح في بحيرة من الامونيا السائلة بلاشك سيجد عالمنا حارا لا يطاق والخواص الكيميائية للماء نزيعة وكريهة على حد سواء.

نشأ نوعنا الحياتي من المركبات ما قبل الحياتية التي تكونت من الغازات

المبثة بفعل النشاط البركاني. فاذا تعرضت عوالم أخرى ذات تركيبة مختلفة لفعل البراكين ايضا فيمكن ان يختلف جوها الى حد كبير عن جو الارض البدائية . انما هل تكون آنذاك قد تمخضت عن منظومة بيولوجية مختلفة ؟ لربما ان الجواب هو كلا. ان تجربة ميلر لا تعتمد على التركيبة الكيميائية للغازات بقدر ما تعتمد على العناصر الموجودة . ان جوا منقوصا يتضمن الكاربون ، والهيدروجين ، والنيتروجين، والاوكسجين، بصرف النظر عن الشكل الكيميائي، سينتج، عند تعريضه لطاقة عالية ، نفس لبنات بناء الحياة التي تكونت على الارض البدائية.

ربما تتواجد الحياة في جميع ارجاء الكون في اشكال عديدة مختلفة وفي بيئات متطرفة، الا أنه يبدو كثير الاحتمال أن يكون اساس الحياة هو نفسه في كل مكان. وهو من هذه الوجهة مزية مفذاذ . ان الحياة هي مجرد شيء يحصل . انها كالتفاعلات الحرارونووية في نشأة وتطور النجوم. ان الحياة همزة الوصل بين المادة والطاقة تحصل تلقائيا عندما تقع الاحوال ضمن حدود ضيقة ، وتتطور في مراحل . وربما توجد تنويعات عديدة من المادة والطاقة ، لكن كيمياءها وفيزياءها في الجوهر يتخذان نفس النمط، وهذا النمط كوني جامع.

الفصل السابع والعشرون

المركبات العضوية في الكون

قبل مائة وخمسين عاما بهر فريدريش فوهلر (Friedrich Wöhler) الاسرة العلمية بانتاج اليوريا من سيانات الامونيوم. وفي تجربة بسيطة اثبت بالبرهان على عدم وجود أي حاجز فاصل لا يقحم بين المواد البيولوجية والمركبات اللاعضوية . وبالنتيجة كان كل من فوهلر وميلر (Stanley Miller) قد أورد الادلة الايضاحية الثبوتية على صحة نفس المبدأ، على وجود صلات تبادلية قابلة للتحول بين الجزيئات البسيطة للاحياء البيولوجية والطبيعة الكيميائية للتركيبة الارضية الجيولوجية . انه لمن غريب الصدف في الواقع أن يكون فوهلر قد درس ايضا ظاهرة قائمة في يومه بقيت بلا حل الى أن جددت التحريات فيها في نفس العام الذي قام ميلر فيه باجراء تجربته.

في عام ١٩٥٣ فيما كان ميلر عاكفا على اجراء تجربته بالتفريغ الكهربائي في جامعة شيكاغو نهض خبير جيولوجي في لندن يستفسر من المتحف البريطاني عن امكانية السماح له بتحليل عينة من مجموعة النيازك المختزنة فيه. لقد كان معلوما منذ ايام برزيليوس وفوهلر ان بعض النيازك تتضمن مواد عضوية . لكن لما كانت المواد العضوية تتأتى تقريبا كليا من كائنات حية ، فان فكرة وجودها في النيازك اسفرت عن مدلولات مذهلة فوق العادة لم يقبلها العقل . كما انه من البداية كانت النيازك محطا لمشاكل التصديق.

في الاقل منذ فجر التاريخ والحكايات والاساطير الشعبية تتداول حول أحجار ، وحتى كتل من الحديد ، تتساقط احيانا على الارض . لكن عصر العقلانية خلق تشكيكا اعتبر معه هذا الامر مستحيلا . وعندما سقط حجر

في ملدة لوسيه بفرنسا في عام ١٧٦٨ شكلت لجنة برئاسة الكيميائي الفرنسي انطوان لافوازييه (Antoine Lavoisier) للتحقيق في الامر، وكان قرار اللجنة الختامي ان النيزك كان صخرة ارضية • وقعت ثلاثة تساقطات أخرى فيأوربا في السنوات التسعينية من القرن الثامن عشر (١٧٩٠) تم الاحتفاظ بعينات منها لكن الرأي العلمي بقي متصلبا في موقفه، ولم تعترف اكاديمية العلوم الملكية في باريس بامكانية سقوط احجار من السماء الى أن تسطرت آلاف منها على مدينة ليغل (l'Aigle) بفرنسا في ظاهرة عجيبة وقعت في ٢٦ نيسان ١٨٠٣ •

تصنف النيازك في ثلاث فئات رئيسة ، حدائد ، واحجار ، وحدائد حجرية، ويجري تقسيم كل من هذه في صنوف فرعية بحسب التركيبة، ويوجد اتساق ملحوظ بين هذه الصنوف من حيث محتوياتها من العناصر والفلزات، مع تشعب بارز بين الفئات• جميع المقومات الفلزية الرئيسة تأتي بنفس صفة الفلزات الارضية ، وغزارة تواجد العناصر في النيازك تتطابق بانتظام مع تلك المعلومة عن الارض• جميع المقومات الفلزية الرئيسة تقع على غرار الفلزات الارضية ونسب كثرة توجد العناصر في هذه النيازك ايضا تتطابق بانتظام مع ما هو معلوم للارض•

بما ان النيازك تنزع الى التعرية بسرعة ولأنها صعبة التمييز عن الصخور العادية، فان ما هو موجود في المتاحف هوالنيازك من فئة الحدائد بأسطحها المجزعة المعرقة• وقد وجد من تجميعة للنيازك تمت سريعا بعد سقطة منها أن نسبة (٩٤٪) منها كانت احجارا • ومن بين الاحجار ظهر ان ثمانين بالمائة (٨٠٪) كانت من الغضروفيت او الكوندريت (chondrites) متميزا بحبيبات مستديرة من الانستاتيت (enstatite) من فصيلة البيروكسين (pyroxene)

أو من الكريزوليت chrysolite، من فصيلة الزبرجد او الياقوت الاصفر ومنه الاوليفين olivine) مغترزة في كتلة من الحجر النيزكي• كما توجد بين النيازك الحجرية مجموعة صغيرة تسمى بالغضروفيت الكاربوني (carbonaceous chondrite) • ورغم ان على الاقل اثنين بالمائة (٢٪) من جميع النيازك تقع في هذه المجموعة، وهي هشة وتتهشم بسرعة بالتعرية ، فانها صعبة التمييز الا اذا وجدت بعد سقوطها بقليل • وقد اعطيت هذه النيازك اسمها هذا نظرا لاحتوائها نسبة خمسة بالمائة (٥٪) من الكاربون العضوي•

يوجد واحد وعشرون (٢١) كوندريت او غضروفيت كاربوني معروفا، وجميعها كان قد تم تجميعها بعد ملاحظة سقوطها بقليل • حاول كل من برزيليوس وفوهلر تحليل المادة العضوية في النيازك الكاربونية لكنه ظهران الكاربون بشكل بوليمر لا يقبل الذوبان ، وبدون تشخيص اية مركبات عضوية ، كلاهما خلص الى القول ان المادة العضوية لم تكن من اصل بيولوجي•

في الرابع عشر من ايار ١٨٦٤ مر نيزك ملتهب فوق جنوب فرنساوسقط قرب قرية اورغيل تناثرت احجاره على منطقة تبلغ مساحتها ميلين مربعين• تم تجميع عشرين (٢٠) شظية منها أغلبها بحجم جمع اليد عدا واحدة كانت بحجم رأس رجل، وبلغ مجموع وزنها (١١ر٥٢٣) كيلوغراماه

قام أس كلوز[٣] (S. Cloëz) بفحص نيزك اورغيل ثم قام من بعده بيير برتيلو[٤] (Pierre Berthelot) بعزل مواد عضوية منه قال انها مادة تشبه الفحم ولكنه لم يتمكن من التثبت منها بالتعيين، فقد كانت الاساليب الكيميائية قبل قرن مضى لا تعطي اكثر من معلومات محدودة عن طبيعة وكميات مثل هذه المواد العسيرة التعيين، وانتظر حل لغز المواد العضوية في النيازك حتى

تحقيق التطورات الأخيرة في الاساليب التحليلية للمواد الجيوكيميائية (أي كيمياء الارض).



الشكل ١/٢٧ – سقوط نيزك انسيسهايم في الزاس في ١٤٩٢.

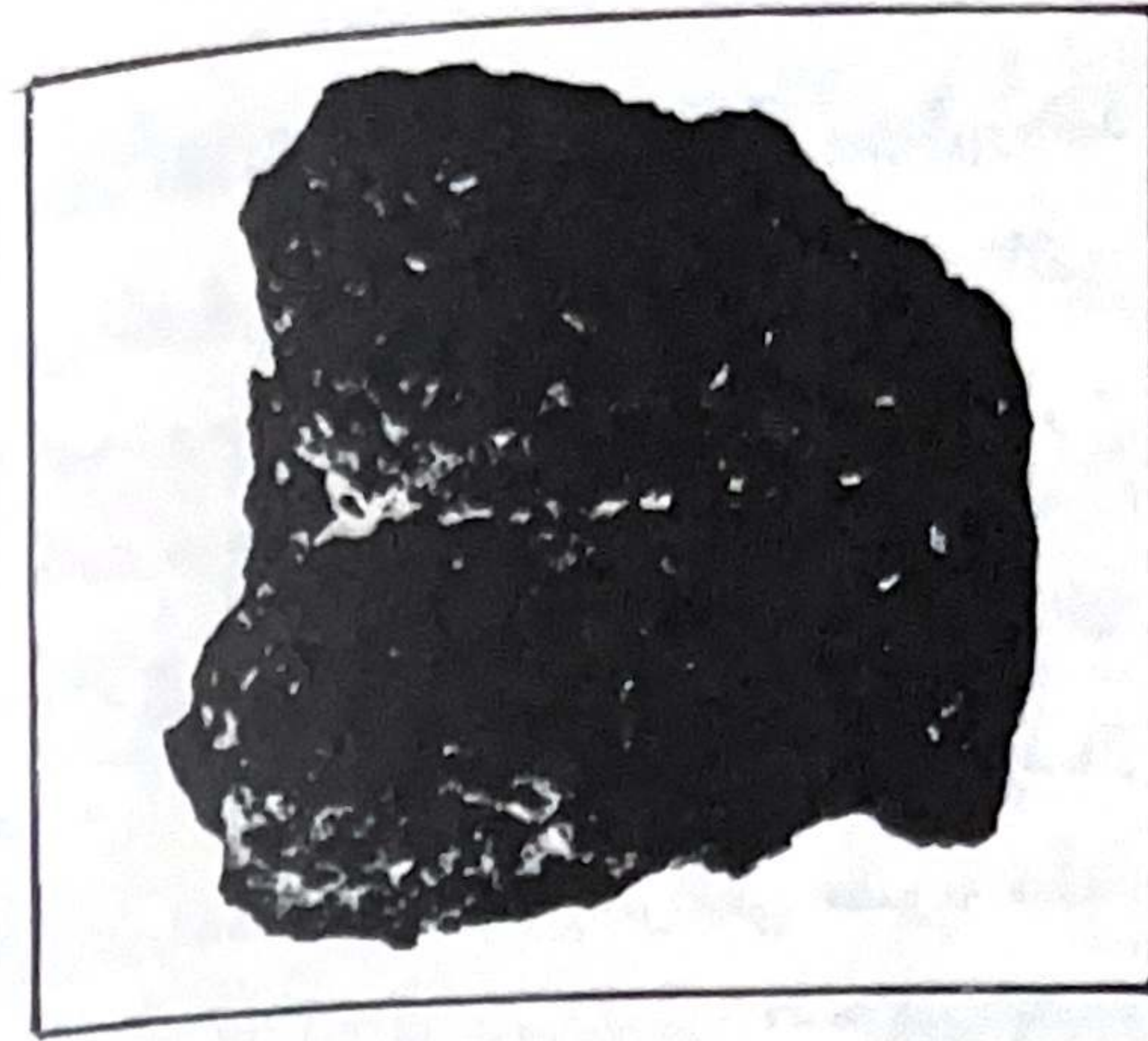
استمر الاهتمام في زفت (bitumen) النيازك طوال الفترة من ١٨٣٤ وحتى ١٨٨٥، لكن تبعتها فترة امدها ثمان وستون (٦٨) سنة يظهر ان الكيميائيين كفوا خلالها عن اعارة هذا الموضوع مزيدا من الاهتمام، وأخيرا، في عام ١٩٥٣، قرر جورج مولر[٥] (George Mueller) من جامعة لندن تناول الموضوع بالدراسة، قام المتحف البريطاني الذي ضم كل مجموعة العشرين نوعا من النيازك الكاربونية المعروفة آنذاك بتقديم عينة وزنها عشرين (٢٠) غراما من نيزك كولد بيكفيلد (Cold Bekkeveld) الذي كان قد سقط في اتحاد جنوب افريقيا في عام ١٨٣٨.

حاول مولر في أول الامر اذابة السيليكات بالحامض ليتمكن من عزل المادة العضوية . استغرقت العملية اسابيع عديدة وكانت أصعب الى حد كبير

من استخراج هذه المادة من حجر السجيل (shale) ووجد مولر ان واحدا بالمائة (١٪) من المادة العضوية الممكنة الاستخراج تألفت بشكل رئيس من الكربون ، والهيدروجين ، والنيتروجين، والاوكسجين ، وايضا الكبريت والكلوريد . كانت درجة حرارة تفسخها منخفضة ، وتعذر اكتشاف أي نشاط بصري في مستخرج بنزيني (benzene) منها، ملغيا بذلك احتمال كونها من أصل بيولوجي . لكن بما ان المادة كانت قابلة للذوبان في القلي (alkali) خلص مولر الى ان المادة متركبة من حوامض عضوية معقدة مع بعض مركبات الكلوريد العضوية، الا أنه لم يتمكن من تشخيص اية بنى كيميائية معينة.

أدلى مولر بالرأي ان لابد ان المادة العضوية كانت قد نشأت في جو متباين الاضاءة والحرارة ليتسنى تبلمر جزيئات معقدة ، ونظرا لتناهي صعوبة اذابة السيليكات ، أفاد مولر أنه لربما ان هذه المادة العضوية كانت قد تكثفت على جسيمات غبارية استقرت وتلززت على جسم فضائي صغير نسبيا. لم تتعرض هذه المادة العضوية في أي زمن أثناء أو بعد تكونها لدرجات حرارة تتجاوز (٢٠٠–٣٠٠°) مئوية ، على نقيض نيازك الحديد والحديد الحجري التي كانت قد تعرضت لدرجات حرارة تفوق الالف (١٠٠٠)° في زمن ما من تاريخها.

في عام ١٩٦٠ اقترح برايان ميسون[٦] (Brian Mason) من المتحف الامريكي للتاريخ الطبيعي بنيويورك ان المواد الاولية لجميع النيازك كانت سيليكات مموهة او مهيدرة (hydrated silicates) مغطاة بطبقة كاربونية متبلمرة ، وقام بارسال عينة من نيزك اورغيل الى الكيميائيين بمختبر شركة ايسو للبترول بنيوجرسي لغرض الحصول على معلومات اكثر دقة عن المواد العضوية في هذا النيزك.



الشكل خ٢/٢ ـ نيزك اورغيل

قـام بي ناجي (B. Nagy) ، ودبليو جي مايتشاين (W.G. Meischein) ودي جيه هينسي[٧] (D.J. Hennessy) بتحليل الجزء العضوي من نيزك اورغيل بالمطيافيـة الكتلية (Mass Spectroscopy) ، ووجـدوا حشـدا من الهيدروكاربونات (hydrocarbons) ، كانت اكبر هيدروكاربونة رباعية الدورة (tetracyclic) بلغ وزنها الجزيئي (٤٢٨) ، لكن الاكثر اعجابا كان مسلسل من عياري البرافين (n-paraffin) امتـد حتى (C_{26}) وتضـاءل عنـد (C_{18}) عند مقارنة طيف قطارة (distillate) النيزك بالاطياف الكتلية للزبدة ورواسب حديثة العهد، ، رأوا تشابها كبيرا بينها • ومن هذا خلصوا الى القول ان المادة العضوية من النيزك كانت من مصدر حيوي•

بنفس تلك السنة قام ناجي وجورج كلاوس[٨] (George Claus) من المركز الطبي بنيويورك بفحص ستة نيازك كاربونية لتحديد تفاصيلها المجهرية • تم سحق النماذج في الماء أو الغليسيرين على شرائح زجاجية وجرت دراستهـا تحت المجهر• في نيزكين اثنين وجدا «عناصر منتظمة» جيدة الوضوح لم تكن

شكلياتها (morphology) مماثلة لأي عنصر معلوم ولكنها تضمنت بعض الشبه بعض انواع الطحالب • ولما كانت نماذج من نيزك اورغيل الذي سقط في فرنسا المعتدلة الطقس ، ونيزك من ايفونا (Ivuna) الذي سقط بعـد الاول بأربع وسبعين (٧٤) سنة في منطقة مدارية قاحلة من اواسط افريقيا تضمنت « عناصر منتظمة » متشابهة الشكلية ، أبدى كل من ناجي وجورج كلاوس ان احتمالية عزو الجسيمات الى التلوث الارضي لم تكن واردة • وبالنتيجة كان تفسيرهما لتلك البنى كأحافير مجهرية محتملة ارمية للنيازك ذاتها ، وعليه ، كبقايا حياة خارج الارضية•

غني عن القول ان هذا خلق ضجة وركز الاهتمام بالنيـازك• ثم أبان ادوارد آندرز[٩] (Edward Anders) وهو كيميائي من معهد انريكو فرمي (Enrico Fermi) بجامعة شيكاغو انه يتم عادة تأشير عينات المتاحف بالاصابع أو البطاقات المصمغـة او الاقـلام الشمعيـة ، وانـه لما كانت تركيـزات الهيدروكاربونات الموجودة تقع مـا بين (١ر٠) و(٠ر١) ميكروغرام، فان احتمالية عائديتها الى تلوث ارضي كانت عالية • لكن موضع التحـديس المبالغ فيه لم تكن النتائج ذاتها وانما الاستنتاج الذي عزا المادة العضوية الى حياة خارج ارضية•

لكن الجدل في الاقل وجه الاهتمام الى مسألة المادة العضوية في النيازك ووسع رقعة التحريات • قامت مختبرات أخرى بتحليل مستخرجـات من الكوندريتات أو الغضروفيـات الكاربونيـة ووجـدت ارجحيـة غالبـة للهيدروكاربونات العطرية على الاليفـاتية • ثم أعلـن مايكل بريكز وجي ماميكونيان[١٠] (Michael Briggs, G. Mamikunian) انهما وجدا أن خمسين الى تسعين بالمائة (٥٠ـ٩٠٪) من المادة كانت بوليمرا عطريا • كما قام مارتن

ستوديو (Martin Studier) من مختبر آرغون الوطني وريوئيجي هاياتسو ((Ryoichi Hayatsu) واندرز[١١] (Anders) بجامعة شيكاغو بتحليل شظايا من نيازك اورغيل، وماراي، وكولد بوكفيلد وتمكنوا من تشخيص البنزين، والتولوين ، والنفثالين ، والانثراسين (anthracine)، والسترات حامض الكبريتونيك او السلفونيك (sulfonic acid) ، والهيدروكاربونات المكلورنة (chlorinated hydrocarbons) في الكسر العضوي. كما وجدوا ايضا الغازات H_2، و CO، و CO_2، و NO و N_2، و SO_2، و CS_2، والميثان والايثان، ومتماثلات أعلى . ألا أن هؤلاء الكيميائيين لم يجدوا ما يبرر الى عزو المادة العضوية الى أصل بيولوجي.

طرح اندرز[١٣] ان النيازك كانت قد جاءت من نجيمات صغيرة لا يتجاوز قطر الواحد منها بضعة كيلومترات في الطول كانت قد تحطمت ، انما لكي يكون تركيز المادة العضوية قد تكون من تفاعل من صنف تفاعل تجربة ميلر يحتم كون اجواء النجيمات كثيفة الى حد المستحيل[١٣]. انما بالأحرى، قد تم التدليل على ان توزيع الهيدروكاربونات العطرية والاليفاتية يقع في تطابق وثيق مع احتسابات دايهوف وزملائها[١٤] للتوازن الديناحراري للمركبات المتولدة في خليط من الكربون ، والهيدروجين، والاوكسجين ، والنيتروجين بدرجة حرارة خمسمائة كلفن (٥٠٠ك (Kelvin, K=). ومعنى ذلك، ان هذه المادة العضوية كانت قد تكونت وتواجدت في السديم الشمسي حتى ما قبل مجيء الارض الى الوجود.

كشفت دراسة النيازك للعلماء، ان المكونات لتوليد مواد عضوية ليست شواذا في الكون . كان معلوما منذ عام ١٩٤٠ ان التحليل المطيافي للضوء من المذنبات اشار الى جذور CH و CN (CH, CN radicals) ، ومع تطور

الفلك الاشعاعي (radio astronomy) وجه الفلكيون هوائياتهم نحو المجرة وما وراءها واكتشفوا سحبا هائلة من جزيئات معقدة نسبيا في الكون . وفي عام ١٩٦٨، اكتشف أي سي تشيونك وآخرون[١٥] (A.C. Cheung) انبثاثات امواج مجهرية (microwave emissions) من سحب الامونيا على مقربة من مركز المجرة ، في عملية مسح قام بها في مختبر الفلك الاشعاعي في بركلي مستخدما مكشافا اشعاعيا طول قطره عشرين قدما (٢٠). وفي السنة التالية اكتشفت مجموعة بركلي[١٦]، وايضا لويس سنايدر (Lewis Snyder) وديفيد بوهل[١٧] (David Buhl) بواسطة مكشاف اشعاعي (radio telescope) طول قطره مائة واربعين (١٤٠) قدما يقع في غرين بنك بفرجينيا الغربية ، اكتشفت الماء. كما قد تم الاعلان عن اكتشاف اول اوكسيد الكربون[١٨]، وسيانيد الهيدروجين[١٩] والفورمالديهايد[٢٠]، والسيانوائيلين[٢١]، وانواع جزيئية[٢٢] أخرى منذ ذلك الحين. ان كثافات هذه الجزيئات في الفضاء ضئيلة ، مثل كثافة الهيدروجين ، ولكن الكميات المطلقة تقع حرفيا في نطاق الارقام الفلكية.

لم يكن صعبا قبول ان الهيدروكاربونات العطرية والاليفاتية (aromatic and aliphatic) المتملصة ، أو العسيرة التبع، من النيازك كانت قد نشأت من توازن ديناحراري للغازات في السديم الشمسي (solar nebula) لكن كون «العناصر المنتظمة» كما قال ناجي وكلاوس ، بقايا حياة خارج أرضية كان نوعا اكثر صعوبة . قامت الجماعة في جامعة شيكاغو[٢٣] بفحص نيازك اورغيل وايفونا ولكنها أخفقت في اكتشاف اية « عناصر منتظمة » رغم انها وجدت حبيبات فلزية كبريتية شديدة الشبه . لكن مايكل بريكز وجي باري كيتو[٢٤] (G. Barrie Kitto) من جامعة فكتوريا بنيوزيلندة اعلنا عن اكتشاف بنى مجهرية عضوية معقدة في نيزك موكوئيا

(Mokoia)، الا انهما اعتبرا احتمال كون الجسيمات حيوية النشأة غير وارد.
عقب ناجي وكلاوس وهينسي (٢٥) في مقالة أخرى حول العناصر المتنظمة
لكن تم الرد عليهم في تحقيق تفصيلي قام به فيج وأندرز (Fitch)
في عام ١٩٦٣. ويبدو ان الاجماع الختامي قبل بوجود اصناف عديدة من
البنى المجهرية تتطابق كتلوثات ارضية او فلزات مبتناة او مواد عضوية مبتناة
ولكنها لم تشر الى كونها من حياة خارج ارضية ابدا.

الجدول ١/٢٧ ـ الجزيئات المكتشفة في الوسط ما بين النجوم

Table 27.1. Molecules found in the interstellar medium.

Year	Molecule	Symbol	Wavelength	Telescope	Initial discovery	
1937		CH	4300A	Mt Wilson 100 inch	Dunham	
1940	Cyanogen	CN	3875 A	Mt Wilson 100 inch	Adams	Mt Wilson
1941		CH	3745-4233 A	Mt Wilson 100 inch	Adams	
1963	Hydroxyl	OH	18, 6.3, 5.0, and 2.2 cm	Lincoln Lab 84 foot	Berkeley	
1968	Ammonia	NH_3	1.3 cm	Hat Creek 20 foot	University of	
1968	Water	H_2O	1.4 cm	Hat Creek 20 foot	Virginia, NRAO,	
1969	Formaldehyde	H_2CO	6.2, 2.1 and 1cm; 2.1 and 2.0 mm	NRAQ 140 foot NRAO 36 foot	University of Maryland and University of Chicago	
1970	Carbon monoxide	CO	2.6 mm	NRAO 36 foot	Bell Labs	
1970	Cyanogen	CN	2.6 mm	NRAO 36 foot	Bell Labs	
1970	Hydrogen	H_2	1100 A	UV rocket camera	NRL	
1970	Hydrogen cyanide	HC N	3.4 mm	NRAO 36 foot	University of Virginia and NRAO	
1970	X-ogen	?	3.4 mm	NRAO 36 foot	NRAO and University of Virginia	
1970	Cyano-acetylene	HC_3N	3.3 cm	NRAO 140 foot	NRAO	
1970	Methyl alcohol	CH_3OH	36 and 1 cm; 3 mm	NRAO 140 foot	Harvard University	
1970	Formic acid	CHOOH	18 cm	NRAO 140 foot	University of Maryland and Harvard University	
1971	Carbon monosuphide	CS	2.0 mm	NRAO 36 foot	Bell Labs and Columbia University	
1971	Formamide	NH_2CHO	6.5 cm	NRAO 140 foot	University of Illinois	
1971	Silicon oxide	SiO	2.3 mm	NRAO 36 foot	Bell Labs and Columbia University	
1971	Carbonyl sulphide	OCS	2.7 mm	NRAO 36 foot	Bell Labs and Columbia University	
1971	Acetonitrile	CH_3CN	2.7 mm	NRAO 36 foot	Bell Labs and Columbia University	
971	Isocyanic acid	HNCO	3.4 mm; 1.4 cm	NRAO 36 foot	University of Virginia and NRAO	
1971	Hydrogen iso-cyanide	HNC	3.3 mm	NRAO 36 foot	University of Virginia and NRAO	
1971	Methyl-acetylene	CH_3C_2H		NRAO 36 foot	University of Virginia NRAO	
971	Acetaldehyde	CH_3CHO	28 cm	NRAO	Harvard University	
971	Thioformaldehyde	H_2CS	9.5 cm	Parkes 210 foot	CSIRO, Australia	

Source: David Buhl, Chemical constituents of interstellar clouds, Nature 234, 332-334 (1971). 1971 Macmillan Journals Limited.

المصدر : ديفيد بوهل : المقومات الكيميائية في السحب ما بين الانجم، مجلة : الطبيعة، عدد ٢٣٤ ص ٣٣٢–٣٣٤ (١٩٧١).

الا انه لم يلبث ان اختتم هذا الجدال حتى اندلع جدال آخر حول صحة مركبات عضوية أخرى مكتشفة في الكوندريتات الكاربونية • وكانت هذه حوامض امينية.

في عام ١٩٦٢ اكتشف اي تي ديجنز (E.T. Degens) وأم باجـور[٢٧] (M. Bajor) من معهد كاليفورنيا للتكنولوجيا وجود حـوامض امينيـة وسكاكر في مستخرج من نيزكي فـاراي وبرودرهـايم يتألف من ثمـانين بالمائة (٨٠٪) من الايثانول (ethanol) • وفي السنة التالية ظهرت مقـالة تفصيلية بقلم آي آر كابلان (I.R. Kaplan) ، وديجنز، وجيه ايج رويتر[٢٨] (J.H. Reuter) تحمل نتائج ثمانية من الكوندريتات الكاربونية وخمسة نيازك لا كاربونية • وجدت الحوامض الامينية والسكاكر في جميعها • كانـت السكاكر من صنف المانوز والغلوكـوز (Maunose, glucose) وبتـركيزات (٥–٢٦) ميكروغراما بالغرام، وسبعة عشر (١٧) حامضا امينيا بمقادير (٣٠–٥٠٠) ميكروغرام بالغرام في النيازك الكاربونيـة ، وبتركيـزات (٨–٥٠) ميكروغراما بالغرام في النيازك اللاكاربونية • لكن لما كانت المادة العضوية ينقصها النشاط البصري، وايضا الصبغات ، والحوامض الدهنية وعلى ما يظهر حوامض النوويك كذلك، ارتأى اصحاب المقـالة ان السكاكر والحوامض الامينية كانت من اصل كيميائي وليس بيولوجي.

كانت كميات الحوامض الامينيـة في حدود ($١٠^{-٦}$ الى $١٠^{-٨}$) مولة

بالغرام• لكن البيوكيميائيين الذين يقومون بتسجيل صبغـوغرامـات او كروماتوغرامات ورقية (paper chromatograms) لاستبيان الحوامض الامينية برش النهدرين (ninhydrin) ان هذا الاسلوب حساس بحيث يعطي نتـائج اختبار موجبة للحوامض الامينية من طبعات الاصابع اذا لم يتخذ الحـذر اللازم • قـام بول هاملتـون[٢٩] (Paul Hamilton) من معهـد دوبون في ويلمنجتون بديلاوير باجراء دراسة اسلوبية تفصيلية لمقادير الحوامض الامينية التي يمكن أن تنشأ من المناولة (handling) • جرى كبس طبعة مفردة من ابهام جاف من أيد مغسولة قبل ساعتين على باطن جدار قدح جاف، ثم غسلت الطبعة الى باطن القدح، وبعد تبخير الماء اخضعت الفضلة الجافـة لعمليـة الكروماتوغراف على عمود تبادل الايونات بالطريقة المعتادة • فكانت النتيجة اكتشاف سبعة عشر حامضا امينيا بحدود ($٥×١٠^{-٩}$ الى $٢×١٠^{-١٠}$) مولة • كان السيرين بأكبر مقدار وتبعـه الغـلايسين • قام خوان اورو وايج بي سكيوز[٣٠] ايضا بتحليل الحوامض الامينية من طبعات الاصابع وقارنا النتائج بتلك المأخوذة من النيازك• كانت المقادير بنفس الحدود، كما كانت نسـب ازواج الحوامض الامينية سيرين ، ثريونين ، وغلايكول آلانين، وسيرين آلانين متطابقة الى حد كبير•

لما كانت الاحجار قد تبادلتها الايدي واختزنت في المتاحف ، فقد نشأت شكوك خطيرة حول صحة تواجد الحوامض الامينية في النيازك• مع ذلك، لم يختتم الجدل هناك• كان الباحثون الذين اعلنوا عن الاكتشافات على علم بالمشاق الداخلة في تحليلات مواد منخفضة المستويات وكانوا على ثقة من أساليبهم • استلزم الامر الآن شواهد جديدة لا تتقبل الارتياب من تعرضها للتلوث الارضي لحسم المسألة اما ايجابا او سلبا•

وجاءت الفرصة من السماء في الساعة الحادية عشرة صباحا في ٢٨ ايلول

١٩٦٩ حين سقط كوندرت كاربوني جديد قرب مرجيسون بفكتوريا اوستراليا . تكسر الساقط الاصلي اثناء الهبوط وتنثر شظايا عديدة في منطقة مساحتها خمسة اميال مربعة . تم جمع العينات بعد السقوط بقليل وجرى تحليلها مشتركا من قبل علماء ناسا (NASA) في مركز ايميز للبحوث بكاليفونيا ، ومن قبل ايزاك كابلان في بركلي، ومن قبل كارلتون مور (Carlton Moore) من جامعة اريزونا الحكومية[٣١].

تضمن نيزك مرجيسون اثنين بالمائة (٢٪) بالوزن من الكاربون و(١٦ر٠٪) من النيتروجين. وعندما جرت حلمأة عينة بوزن عشرة غرامات بحامض الهيدروكلوريك وتحليلها بعملية الكروماتوغرافيا ، كانت النتائج حصول ذري من الغلايسين ، والالانين والفالين والبرولين وحامض الغلوتاميك . اضافة الى هذه الحوامض الامينية العادية في البروتينات ، وجد ثنائي مثيل الانين (2-methylalanine) وساركوسين (sarcosine) غير الموجودين اعتياديا في المنظومات البيولوجية . كانت المادة في هذا التحليل كافية لقياس الايسومرات البصرية ، وتبين ان كلا الشكلين دي وايل (D and L) كانا موجودين تقريبا بنسب متساوية . ان المتعضيات الارضية تستخدم تقريبا بلا استثناء الايسومر (L) . اثبتت النتائج بوضوح أن الحوامض الامينية في النيازك لم تكن ناشئة عن التلوث وانها بكل وضوح من اصل لا حياتي. تبع هذا تقرير[٣٢] ثان يشخص احد عشر حامضا امينيا (١١) في هذا النيزك . تضمن نيزك مرجيسون ما مجموعه (٢×١٠^{-٢}) مولة من الحوامض الامينية بالغرام ، وهو مقدار أعلى مما يقع في العديد من الرمال الصحراوية.

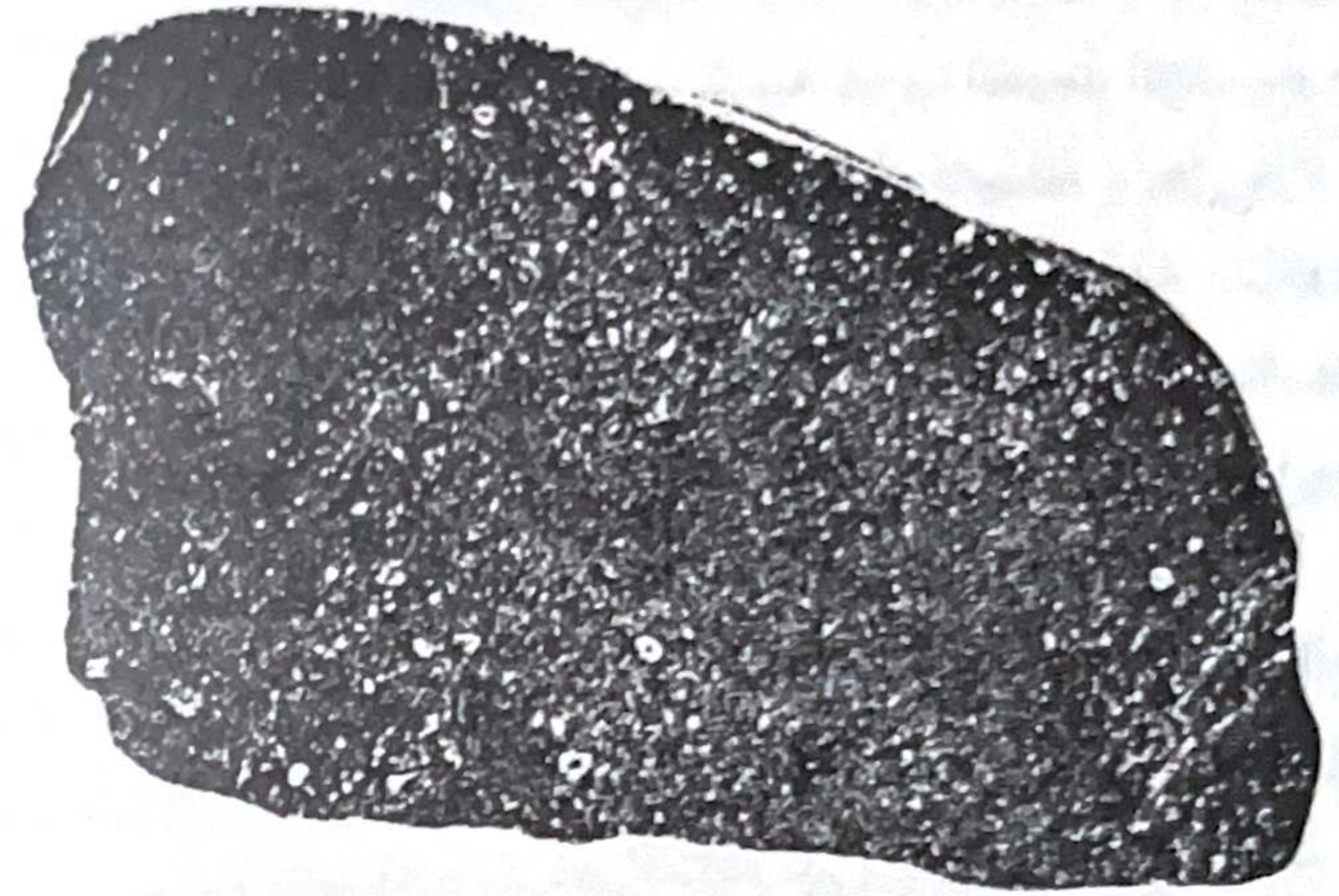
ان انعدام النشاط البصري في الحوامض الامينية القديمة للغاية لا يلغي احتمال كونها من ذوات شكل ايسومري واحد فقط في زمن ما. ليست الايسومرية التجسمية للحوامض الامينية مستقرة مطلقا ، وتتريسم ايسومرات

الحوامض الامينية في النهاية بوتيرة تعتمد على درجة الحرارة[٣٣]، وهي خاصية تم تطويرها كوسيلة لتأريخ العينات العتيقة . في درجة حرارة صفر مئوية (٠°) تملك ايسومرات الايسولوسين والالانين انصاف اعمار في التحول الى خليط متناصف (أي ٥٠ـ٥٠) قدرها (٤ر٤) و (١ر١) مليون سنة على التوالي، بينما في درجة حرارة (٢٥°) مئوية يبلغ نصفا عمريهما (٣٥٠٠٠)سنة و(١١٠٠٠) سنة.

النيازك هي اقدم الصخور المعروفة . وقد تم تاريخها بعمر اربعة آلاف وستمائة (٤٦٠٠) مليون سنة وتعتبر قديمة قدم المنظومة الشمسية نفسها. وهذا يترك مسألة الحوامض الامينية في النيازك للمسألة . هل تولدت في تفاعل من صنف تجربة ميلر في السديم الشمسي أم هل انها قد نشأت بكيفية ما أخرى؟ لا يستبعد انها تأتت من مصدر آخر غير منظور . عند تحليل الصخور المستجلبة من القمر في مركبات ابولو لاكتشاف تواجد الحوامض الامينية فيها كانت النتائج الاولية ، لدهشة العديد من العلماء، سالبة . لكن هذه التحليلات كانت قد أجريت على مستخرجات مائية بسيطة من العينات. وعندما ظهر انه لا توجد اية حوامض امينية في المستخرجات ، جرى اخضاع المواد المستخرجة للحلمأة بالطريقة المعتادة للبروتينات ، ثم تم تحليلها . وفي هذا التحليل تم اكتشاف ستة حوامض امينية هي الغلايسين، والالانين،وحامض الاسبرتيك، وحامض الغلوتاميك ، والسيرين ، والثريونين . كانت مقاديرها ضئيلة (٧ الى ٤٥) نانوغراما بالغرام الواحد[٣٤].

لماذا اذن ظهرت الحوامض الامينية بعد الحلمأة فقط. على ما يظهر ان الحوامض الامينية لا تتواجد على القمر في غياب الماء، ولكن طلائعها موجودة، وعملية الحلمأة حولت هذه الطلائع الى حوامض امينية طليقة . لا يعلم شيء عن الطبيعة الكيميائية لهذه الطلائع ، وانما يحدس ربما انها سيانيدات

(cyanides) ، أي سيانيدات كانت قد نتجت عن القصف المستديم على سطح
من نوى الكاربون والنيتروجين المتأتية من الرياح الشمسية.



الشكل ٣/٢٧ ـ نيزك مرجيسون .

الفصل الثامن والعشرون

الارض ، ام الجبابرة

بدأت الحياة قبل زهاء اربعة آلاف مليون سنة في ما يبدو كان وسطا غريبا ونزيعا، ومع بداية الحياة ابتدأت مسيرة التطور البيولوجي . ظهرت، على امتداد رحبة الزمن الفسيحة الى ما يفوق المعقول ، اجيـال عـديدة لا تحصى ، تكونت واندثرت في وجود لا عقلي، مغيِّرة الطبيعة الكيميائيـة للارض وهي تغير نفسها باطراد على سلم التطور ، وارتقت، عتبة معينة، من الميكروبة الى الانسان . لكن النتيجة الأكثر عجبا في السيرورة كلهـا هي درايتنا بها.

فبالتالي ، ما نحن سوى مواد كيميائية التأمت معا في منظومة تناسخية ذاتية الادامة تطورت على مر الدهور واجتازت الى نور الوعي. ومضى الوعي حتى بلغ الادراك الذاتي وهي حالة يتسع لنا معها، كمنتوجات السيرورة ، ان نلتفت الى الماضي وتتبصر في اعماق الزمن لنرى وتتمثل أحـوال بدايتنـا ذاتهـا.

وليس وليد المصادفة أن يكون هذا شأننا . فقد خلـق ادراك الـذات البشري طموحا لمعرفة العالم وتغييره لاشباع رغباتنا . انها عملية الاغتذاء الارتجاعي، كالتحفيز الذاتي لدى الخلية البيولوجية المنبثقة التي وضعتهـا المنظومة منفردة عن الوسط المحيط بها . لقد فصم الادراك الذاتي اعتماد الانسان الكلي على صروف البيئة وجعل الجنس البشري مرحلة متميزة في ركب التطور.

بسبب قدرتنا على رؤية انفسنا في المحيط المادي، اعملنا في الارض مالم

يعمله أي نوع حي آخر• اننا نستطيع تأمل اشكال الحياة المختلفة ، الماضية والحاضرة ، ونرى منزلتها في الحبكة المتراصة لصرح الطبيعة • لكن الانسان التكنولوجي كسر القيود التي تربط الخلائق الأخرى في معتقل البيئوي، وبدلا من الانصياغ في بوتقة البيئة الحيوية وفق النظرية الداروينية للانتقاء الطبيعي، انجزنا الوسيلة لسبك الطبيعة وفق قالبنا • وكلما تقدم الانسان في التكنولوجيا يبدو أن وجوده يتخذ معنى يتجاوز النطاق الارضي الى الكوني، ذلك لأنه هو لوحده بين الاحياء قد تمكن من الانعتاق عن احضان الارض•

فقد منحتنا منجزاتنا التكنولوجية الوسيلة لتوسيع بقعتنا البيئيةالحيوية الى ما وراء كوكب الارض في أعماق المجموعة الشمسية • يقع المريخ على بعد ستين مليون ميل، والمسافة الى اقمار المشتري ستمائة مليون ميل ، والى زحل الف مليون ميل• ويبقى اورانوس ونبتون وبلوتو • لكن هناك تقع نهاية منظومتنا الشمسية ، ووراءها يمتد فضاء واسع مترام يستغرق ضوء أقرب النجوم سنينا عديدة لقطعه • لكن الميكروبة التي كابدت وصارعت عبر ثلاثة آلاف وخمسمائة مليون سنة من التطور لتصبح الانسان ، تمد انظارها الى المائة الف مليون نجم في المجرة لتكتشف انها ما ان تنعتق من قطيرة كونية حتى تجد نفسها في أخرى•

مع ذلك، نعلم ان الميكروبة تعيش بانعزال اعمى في كون مجهري ليس سوى جزء من بعد هائل شاسع ، ونعلم ان الحيوانات ذوات الطبيعة الابسط من الانسان تعيش على هامش حقيقة مادية ذات عمق وتعقيد ابعد من متناول قدرتها الادراكية بأشواط عديدة • فما هو اذن موقع الانسان؟ وهل نحن ايضا نقع على حافة حقيقة تمتد في مهامه وجود اعماق نهتجسه ولكننا لا نفهمه، أو هل الانسان في تطور يشكل بذاته صفة للعالم المادي الذي يمتد بلا حدود؟

ان التيار الذي حمل في ركبه الوجود كله بلا توان ولا تهاود لا يزال ينساب، ولن ينتهي معناه• فما نحن سوى مشاركين على مسرح تعددي الأطوار متمركز في شق ضيق من الزمن والمكان فيما يتدفق شلال الأحداث التي بدأت منذ دهور دون توقف • نحن جزء من سيرورة بدأت في صمر ما في الدهر الاركي • ومن تلك البداية المتواضعة جئنا نتسلق عتبة أثر عتبة على ما يبدو انه هرم مدرج• لكننا نبدو اننا قد بلغنا مشارف الذروة، وهي نقطة يتوقف عندها تيار التطور • لكننا نجد عند تحليل منحى الحياة ان ليس الانسان هو الذي قد بلغ نقطة تقاطع حرجة في رحلة طويلة ، انما هو التطور البيولوجي•

لقد خلق التبدل الطفري التنويع، وجعل الانتقاء الطبيعي الصالح من المتعضيات للتوسع الى كل بقعة بيئية حيوية بصفة• لكن الحقل البيولوجي منثور بأنواع بقيت في مستويات من الوجود العابر • فقد تبع التطور سلسلة من الخطوات الى التعاظم في الحجم والتعقيد ، بينما بقيت المستويات المختلفة مشغولة بأشكال من الحياة المتخلفة ، ولم تتطور سوى مقاطع من الاحياء لتصعد الشوط المدرج الى الانسان•

عليه ، أي سورة دفعت اسلال البروكاريوت الى هجر عالمها الميكروبي الذي ازدهرت فيه دهورا طويلة عديدة ، والمغامرة في بعد جديد كليا؟

لا يتحقق الحجم والتعقيد في التطورفقط بالآلية الانتقائية من الداروينية، تسري مبادىء النشوء الارتقائي الداروينية ضمن مستوى ما من النشوء التطوري• لكن التوسع الى ترتيبة هرمية من مراحل يتطلب تنظيم المزيد من المادة في تركيبات ضاربة الى الاتساق، وعليه فيبدو انه توجد ركيزة قاعدية لا تفتأ تدفع رتل النظم البيولوجية الى ارتفاعات عالية باطراد، وللوقوف على هذه القاعدة يتوجب علينا أن نكرر تفحص العتبات•

ان الخطوة أو الدرجة الاكبر في التطور هي واحدة من الخطوات الاقل بروزا للناظر العابر. قبل أكثر من الف مليون سنـة ، في الزمن ما قبل الكمبري حين كانت القارات عارية وقاحلة مجدبة ، حين كانت الحياة لا تزال منحصرة في المتعضيات المجهرية العائمة في المحيطات ظهرت اليوكاريوت ، اكبر وأكثر تعقيدا بكثير في البنية الباطنية من اسلافها البروكاريوت . كانت اليوكاريوت لا تزال ميكروبات أحادية الخلية ولكنها طورت مسلكا ازيميا اتاح لها ان تستخدم الاوكسجين الجزيئي لاكسدة الغلوكوز كليا الى ثاني اوكسيد الكربون والماء. ان ما حققته اليوكاريوت بالتنفس كان اطلاقا من الطاقة المتوفرة من الغلوكوز يبلغ ثماني عشرة مرة أعظم من الكمية التي كانت اسلافها تستطيع الحصول عليها.

عندما استنبطت اليوكاريوت التنفس ادخلت بذلك عصرا من تعدد الخلوية دفع النباتات والحيوانات الى بعد جديد كلي، والخطوات الرئيسة في التطور منذئذ تعزى الى تحوير هذا النظام لتحقيق المزيد من الكفاءة التأيضية ، تطور السمك بجهاز دورة دموية اكثر كفاءة مستخدما الهيموغلوبين لاستخراج الاوكسجين من الماء وحمله الى جميع الخلايا في الجسم، وأما الزواحف فقد كانت هوائية التنفس التي استطاعت ان تستغل التركيز الاعلى من الاوكسجين في الهواء، وظهرت الثدييات مع القدرة على التحكم بدرجات الحرارة لابقاء دمائها دافئة وبذلك اكثر قدرة على تزويد الدماغ والعضل بالاوكسجين . تشعب الانسان من الخلائق العليا بتوجيه طاقة التحفيز من خلال التسامي للتفكير الخلاق وهي الخطوة التي اجتاز بها الفاصل الى استدرار المخازين الهائلة من الطاقة الكامنة في الطبيعة الجمادية.

يوجد عامل واحد مفرد يمكن تشخيصه مع كل خطوة كبرى، ألا وهو الطاقة.

سـواء لنمـو منظـومة بيولوجيـة أم لتشييد ناطحـة سحـاب : يتطلب ترتيب المادة في تركيبة أكثر انتظاما ضد التيار الشامل سواء أكان ذلك لغرض نمو منظومة بيولوجية أم لتشييد ناطحة سحاب ، يتطلب تركيزا في الطاقة. وكلما اتسعت رقعة التنظيم المادي كلما تدعو الحاجة الى دفق اكبر من الطاقة من خزان ما لدفع عملية التشييد ، وكل تقدم رئيس في العمود التطوري ارتفق باستنباط وسيلة لاستمداد طاقة لم تكن متوفرة للنظام السابق.

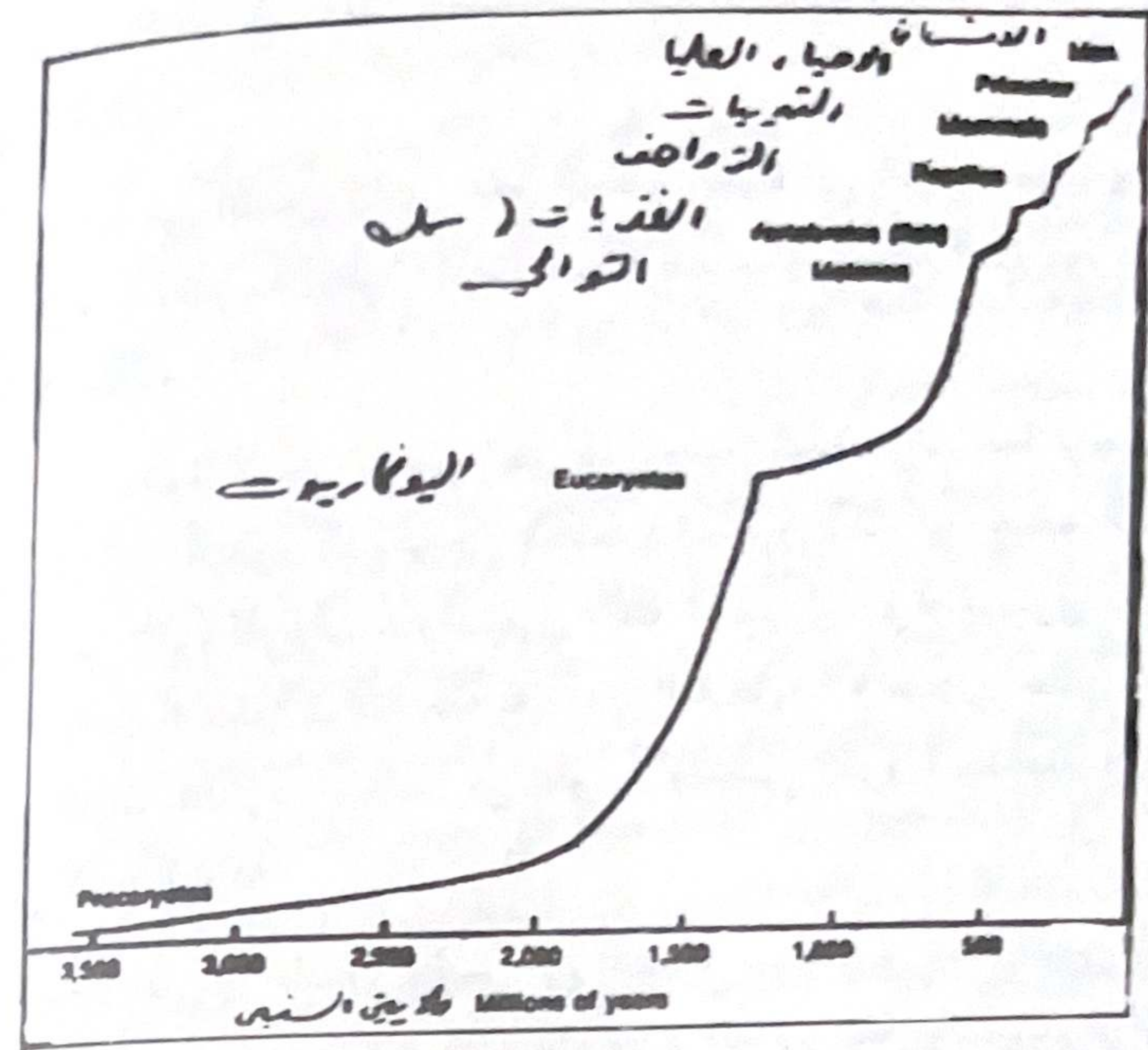
الطاقة هي المنطلق الذي يدفع اشكال الحياة الى التزايد حجما وتعقيدا، والى واقعية ملموسة أعظم . لكننا فيما نرتب سياق التقدم التطوري نكتشف مدلولا مقلقا.

كل خطوة تشكل منحنى تطوريا، وجميع الخطـوات معا ترسم تقدما متسارعا لكل التطور البيولوجي بأجمعه. استغرق أكثر من نصف الزمن في التقدم من البروكاريوت ، واستغرق ذلك الزمن لبلـوغ مستوى السمك، وفيما تتابعت الخطوا تالمتلاحقة قل زمن التلاحق. انه منحنى جسم متسارع يجمع العزم، كالكرة الساقطة من علو . وتمضي القوة الدافعة بلا كبح، ويملي العزم السرعة.

ويبدو ان كل تطـور رئيس في النشوء يستغـرق زمنا أقصر فأقصر. يبدأ كل تطور ببطء، ولكنه بالاغتذاء بعزم الذاتي يبدأ بالتسـارع الى أن يسرع الى حالته المتطورة ، وعندما يبلغ مستوى ختاميا ، وهو مرحلة أعلى في النشوء، يبدأ انسال شكل الحياة الجديد بتكرار الدورة ، مستثنثة صفة ما تفضي أخيرا الى خطوة تالية أخرى.

تتوازن شدف من الاحياء وتتوقف عن التطور، لكن التقدم الاجمالي للرتل البيولوجي لا يبلغ التوازن ، بل بالعكس، يواصل التسارع مرحلة تلو

مرحلة بوتيرة توحي الى أن فترة تفوق الانسان ستكون وجيزة. فاننا في الظاهر قد بلغنا نقطة حرجة في التطور البيولوجي. وأما أن تيار التطور لم يعد يصدق، واما ان تغيرا جذريا في مسيرة التطور على وشك الوقوع . أيا كان الأمر فأننا في خضم شيء خطير يتمخض.



الشكل ١/٢٨ ــ مخطط بياني يرسم تتابع مراحل النشوء الرئيسة المفضية الى الانسان.

تعمل آلية المنظومات البيولوجية بالتفاعلات التلقائية ، تفاعلات كيميائية ليست متوازنة مع المحيط تمثل طاقة كامنة بمثابة قوة دافعة . تمكنت الخلية بعزل وتنسيق عمليات كيميائية منتقاة ضمن غشاء عازل من خلق قدرتها الكامنة من الطاقة وتوجيه قوتها لانجاز الانشطة الخلوية.

كانت عملية عزل الخلية انتقائيا من البيئة بواسطة غشاء ضرورية للكمون. كما انها جعلت الخلية البدائية كيانا مستقلا ، وعندما أصبحت الخلية ذاتية التحفيز انعتقت من اعتمادها الشديد على البيئة الكيميائية للتحكم في عملياتها الخاصة وابتعدت عن الوسط ما قبل الحياتي متجهة نحو تطور منفصل.

هاتان الخطوتان ، أي تكوين طاقة كامنة كقوة دافعة ، واستخدام السيرورات الدورية لخلق مراحل مستقلة ، كانتا طريقتين رئيستين في مسيرة النشوء . كانتا جوهريتي الضرورة لتكوين الخلايا البيولوجية، وهما متصلتان مباشرة بتفوق الانسان. كان الادراك الذاتي التفاعل الدائري الذي أتاح لنا ان نرى أنفسنا مستقلين عن المشهد الطبيعي. واستخدام الطاقة الخارجية أعان الانسان على التفوق والارتقاء بعيدا عن الحيوانية .

يرسم تقدمنا في التحكم بالطاقة مسار مجتمعنا التكنولوجي . كانت الخطوة الاولى طويلة، وابتدأت بالجبار بروميثيوس (Prometheus) ، لكنها بقيت تطورا بطيئا لزمن مديد . طوال نصف مليون من السنين لم يملك الانسان غير النار كمصدر طاقة خارجي ذي أهمية . وأثناء تلك الفترة الطويلة صقل مهارته في صنع الاسلحة والادوات ، لكنها بقيت كتمديدات لطاقته الايضية . لم تبدأ الزراعة الا قبل حوالي ١٠٠٠٠ سنة تحل محل مجتمع الصيد والقنص . توطدت المجتمعات وبدأت تنمو، وأخذت تستعين بالبهائم في انجاز أعمالها. وفيما بدأ اكتشاف الأسس والقواعد الهندسية بدأ الانسان

بتسخير الرياح والماء لاعماله ، لكن الطاقة الايضية بقيت المصدر الرئيس للطاقة المقننة، ولم يتم تسخير كمون النار العظيم لانجاز عمل الى أن تم اختراع المحرك البخاري قبل أقل من مائتي سنة. واذ بدأت عجلات الصناعة تدور باستغلال الطاقة الكامنة في المخازين الهائلة من الوقــود الاحفـوري . ثم في عام ١٩٤٥ تم اطلاق طاقة الذرة في أحوال مقننة في مفاعل ذري في مختبرات ارغون بشيكاغو.

وفيما استتب الوسط بفعل التقدمات الاجتماعية والتكنيكية ، اتخذت الطاقة وسيطرتنا عليها أهمية متزايدة، وتسارع السير مع كل خطوة ، الى أن أصبح المجتمع الآن يستهلك الطاقة بوتيرة فلكيــة . يرسم التطور منحنى نموذجيا للتغير النشوئي يبدأ بالتقدم ببطء، ثم يتسارع الى أن يقارب النهاية فيندفع متسابقا الى مستوى نظامي آخر.

لكن أي مستوى نظامي يمكن ان يخلفنا؟

لا يمكن اعتبار انواع فردية وبيئاتها في انعزال بمفردها، فان كل منظومة بيئوية هي جزء من سلسلة من منظومات بيئوية التي تكبر بمراحل من الاصغر الى الاكبر بواسطة عرى تغذية ارتجاعية متواشجة وتتسع الى أن تشمل النطاق الحيوي برمته . كما ليست البيئة منفصلة عن الخلائق الحية التي تقطن فيها. فالتربة والبحر والهواء جزء من النطاق الحيوي الذي تقوم بتغذيتـه وتتأثر بالتوازن بين غازات الجو والبحار ، وتوجد عمليات تبادل الغاز البيولوجي بين الجو وجميع الكائنات الحية . فالنباتات تتناول ثاني اوكسيد الكربون وتطلق الاوكسجين ، والحيوانات تستخـدم الاوكسجين وتطـرد ثـاني أوكسيد الكربون . زيادة على ذلك، هناك عدد من الغازات بمقادير أقل، كالميثان ، والاوكسيد النيتروجيني ، وأول أوكسيد الكربون ، والامونيا، تطلقه المنظومات الحية، ولاسيما المتعضيات المجهريـة في الجو. وعليـه،



فان الجو يتألف على وجه التقريب من نسبة اربعة الى واحد من النيتروجين الى الاوكسجين، مع عدد كبير من المقومات الضئيلة في تركيزات تبقى ثابتة على مدى أحقاب طويلة من الزمن الجيولوجي. والنقطة ذات الاهتمام هي انها جميعها غير متوازنة الى حد كبير.

يمثل جو الارض شذوذا عن القاعدة في كونه يتألف من خمسة وسبعين بالمائة (٧٥٪) من الهيدروجين. ان جوا يتألف من واحد وعشرين بالمائة (٢١٪) من الاوكسجين يمثل كمون طاقة ضخم مع جوف الارض . وهذا كمون ناتج عن السيرورات البيولوجية ويستديم بها. وقد قدر ان من دون اطـلاق النباتات الاوكسجين في الجو من عملية التمثيل الضوئي، لكان يضيع جميع الاوكسجين الطليق ضمـن فترة الفي (٢٠٠٠) سنة في اكسـدة الصخور والغازات المنبثقة من الانشطة البركانية[1].

ليس فقط الغازان الرئيسان ، النيتروجين والاوكسجين ، غير متوازنين، وانما مكونات جوية صغرى هي أكثر غزارة بكثير مما ينبغي أن تكون وفق كيمياء التوازن . اضافة الى ذلك، تبقى تركيبة الجو ثابتة نسبيا بالرغم من غزوات الطبيعة والانسان الصناعي . لابد انه توجد آليات تنظيمية تحتفظ بهذا الثبات، ولادامة عدم التوازن يلزم تغذية الآلية بامـداد من الطـاقة باستمرار.

تعتبر الحياة هي المنظومـات البيولوجيـة وان السمة الفريدة لخليـة تتألف من جزيئات بيولوجية مغلفة بغشاء دهني شبه انفاذي انتشاري، وتم نقل هذه الصفة الى النباتات والحيوانات المعقدة عندما اجتازت الخلايا الى طور التعددية ، غير ان هذه الصفة تملك مدلولا اوسع من التعريف الضيق المقصور على المتعضيات المنفصلة القائمة بذاتها. ان مؤتلفات المتعضيـات (combinations) مثل مجموعـات من المتعضيات المجهريـة ، والحشرات،



والانسان فتأخذ حيوية خاصة بها • وهذه تتزود من طاقة افرادها أو اعضائها وتوزعها على الوحدة بأجمعها • وهذه بدورها هي علاقة تعايشية يستمد الافراد منها فوائد يعجز الفرد من بلوغها لوحده والاعتماد هذا مديم للحياة. فلا النمل ولا النحل ولا الانسان تستطيع العيش طويلا كمخلوقات منفردة وحيدة، وعندما يموت المجتمع يموت الافراد مثلما تفعل خلايا الجسم المتوفى.

ان الصفة التي تنعتها بالحياة تختلق في منظومات ذاتية الادامة وقادرة على الحفاظ بكمون من الطاقة لدفع انشطتها، وهذا الكمون يمثل لا توازنا عبر حد بين باطن الوحدة والبيئة المحيطة • والحد بالنسبة الى الخلية البيولوجية هو الغشاء الدهني، أما بالنسبة الى مجتمع فيتم وضعه من قبل العضوية المغلقة، وبالنسبة الى النطاق الحيوي بأجمعه هو الجو المؤكسج ومجموع كوامن النطاق الحيوي الذي يمدد اللاتوازن.

وعندما تتأمل الارض نكتشف أن النظام برمته يملك هذه الخواص نفسها الموجودة في الكيان الحي.

قام جيمز لفلوك من انكلترة ولين مرغوليس من جامعة بوسطن بطرح فرضية غايا (Gaia =الهة الارض وأم الجبابرة عند الاغريق القدماء) حيث يعتبر جو الارض بمثابة جهاز الدورة الدموية للنطاق أو الجو الحيوي[٢] (biosphere) • تشكل بعض اوجه الجو ، كدرجة الحرارة ، والتركيبة، وحالة الاكسدة ـ الاختزال ، والحموضة ، استقرارية متجانسة او ستاتية متجانسة (homeostatic) • ولما كانت هذه الخواص هي بذاتها منتوجات النشوء المتطور، فان الجو يملك مظهر كونه ابتكارا تم تشكيله جماعيا من قبل المنظومات الحية لانجاز وظائف التحكم والسيطرة اللازمة • تعتبر المادة الحية والهواء والمحيطات وسطح الارض اليابسة كأجزاء من نظام كلي عملاق يملك القدرة على التحكم بدرجة الحرارة وتركيبة البحر والهواء

وحموضة التربة لمواصلة بقاء النطاق الحيوي• وبعبارة أخرى ان النظام بمجموعه يبدو انه يسلك كمتعضية حية.

نحن سيرورة ضمن سيرورة ومنذ ايام بروميثيوس نطلق بتسارع مخازين الطاقة لاحكام سيطرتنا وسيادتنا على الطبيعة • لكننا لسنا ظاهرة منعزلة، وانما نحن ذروة النشوء البيولوجي الذي أحال الارض الى سيرورة دينامية ذات ابعاد رهيبة هائلة • ونحن الآن قد اتممنا الدورة بأكملها، وغدونا في وضع مماثل بشدة لوضع متعضيات اليوكاريوت عندما ظهرت قبل أكثر من الف مليون سنة مضت ثم اقتحمت الى بعد جديد تماما•

عملت السيانوبكتيريا طوال الفي (٢٠٠٠) مليون سنة على تكوين وترسيخ قاعدة امتصاص الطاقة الشمسية • فتناول النطاق الحيوي هذه الطاقة وتمثّلها باطنيا بالنمو الجانبي وبالنمو الهرمي في سلاسل الاغذية فيما كانت الطحالب تحرر الاوكسجين الطليق وتبثه في البيئة • واقتدح التغير بالتبدل الطفري، كدقات الساعة نحو تنظيم أعلى للدنأ DNA، بأثر الارتطام الطاقوي الشديد من الاشعة الكونية، الا أن الانتقاء الطبيعي (natural selection) عمل كترس وسقاطة (ratchet) ضد العودة الى مستوى أخفض•

لكن الآلية كانت تراوح، وبقيت الحياة على مستوى البروكاريوت لحين امكان دفع البيئة الارضية برمتها الى الأمام• استغرق ذلك دهورا لكن التنفس لم يصبح ممكنا الى ان وصل مستوى الاوكسجين الطليق الى واحد بالمائة من كميته او قيمته اليوم• وقد كان في هذه النقطة ان بلغ كمون الطاقة ارتفاعا امكن معه الاستدرار منه بظهور الخلايا اليوكاريوتية لتحقيق تنظيم بنيوي أعظم• كان عظم كمون الطاقة قد بلغ درجة بحيث انفتح الباب الى بعد جديد كلي بالحجم ومضت اليوكاريوت قدما في مسيرتها الى مستويات أعلى•

تم اجتياز المرحلة الاحادية الخلية الى المستوى النسيجي من التطور بالاسفنج واللاحشويات ، واستغرق التطور مائة مليون سنة أخرى للتقدم من المستوى النسيجي الى حيوانات ذات أعضاء. لكن النتيجة كانت انفجارية. اندفعت البيولوجيا أو الاحياء بقوة ، بلا وجل ولا مقاومة ، الى الخواء البعدي مفضية الى نشوء سريع لجميع العوائل الحيوانية الا واحدة ، وتمكنت الفقريات فقط من النشوء في وقت لاحق من الحبليات، غصت البحار بالمفصليات والرخويات والديدان ولا فقريات غيرها ، وبدأ النشوء البيولوجي على الطريق مكررا الدورة .

ظل النشوء يتزود من كمون الطاقة في الارض طوال ست مائة (٦٠٠) مليون سنة لتوسيع النطاق الحيوي الى جميع انحاء البعد الجديد . (وتم ادامة هذا الكمين بعملية التمثيل الضوئي، لاسيما بالعوالق النباتية في البحار). تطورت سلاسل الغذاء لاستيعاب احتياطي الطاقة المتزايد. واصبحت البنية البيولوجية في الحياة الحيوانية معقدة ومهذبة للغاية ، وامتدت الحياة الى جميع البقاع البيئية الحيوية الممكنة، من المياه المتجمدة في المناطق القطبية الى أعماق البحار الغائرة . والانسان، في توسعه، مدد سيادته الى جميع مرافق الخلائق الحية الأخرى. انما بالأحرى فتح انسال بروميثيوس صندوق باندورا (Pandora's box) ليجد كنوزا هائلة من كمائن الطاقة يعجز الخيال عن تصورها، ووجدوا كميات هائلة من الطاقة في مواد الوقود الاحفورية ، والآن فتحوا ايضا كمون الطاقة الرهيبة في الذرة.

بلغ التطور البيولوجي للانسان هضبة قبل حوالي مائة الف (١٠٠ ٠٠٠) سنة وبقي هناك طول الزمن دون تغييريذكر. ان تطورنا النشوئي كنوع قد بلغ النضج، لكن بنيتنا الحضارية هي التي تواصل التطور الآن. لقد بلغت بيولوجيتنا او حيويتنا مرحلة توازنها، لكن مجتمعنا التكنولوجي لم يفعل بعد،

وهو يواصل التسابق بعزم متزايد في منحنى متسارع مندفعا بزخم الطاقة الذي يمضي بلا مقاومة . نحن الآن في المرحلة المعادلة للحقب التي سبقت ثورة اليوكاريوت ، حين كانت البروكاريوت قد توسعت في الأعداد الى منتهى حدود تعقدها . غير ان استخدامها للطاقة لم يؤد الى التوازن ، وانما عجل في تراكم كمون الطاقة وأدى الى فقدانها لسيادتها .

تستهلك تكنولوجيتنا الطاقة بوتيرة هائلة، وفي أثناء هذه السيرورة تبتكر الوسائل للكشف عن مصادر أعظم. الا انه يوجد حد لكمية الطاقة التي يمكن امتصاصها بطريقة انتظامية في حيز مغلق. وكما حصل لدى اليوكاريوت ، سيقذف بنا كميننا الطاقوي الى بعد أعظم.

اننا نتطلع من خلال الغلاف الغازي الذي يلف الارض ونرى كونا منثورا بآلاف الملايين على آلاف الملايين من العوالم الأخرى، كامنة امامنا كسواحل نائية، كقارات بعيدة غير مستقصاة . فالفضاء خاو شاغر وأراضيه مجدبة مقفرة، ومغرية تدعونا اليها، كتكرار ذلك الحدث في فجر الحقبة الكمبرية قبل مئات عديدة من ملايين السنين حين اقتحم اسلافنا الى بعد آخر وخرجوا من البحار لاستيطان القارات . وهذه الفرص تذكي مخيلتنا وتشد على مصيرنا . وتملؤنا سعة الفضاء الهائلة بالرهبة ، وتجتذبنا اليها ببطء كمغنطيس لا يقاوم .

لقد تحتم على توسعنا التغلب تكرارا على مجموع العقبات والعوائق الزمنية والمسافية ، وفيما بقيت حاستنا الزمنية بلا تغيير نسبيا ضمن مدى ضيق، فاننا قد استطعنا خرق الحواجز وذلك بتقليص المسافة بالانتقال الاسرع. لكن الكون بعد آخر. والمسافات الى النجوم هائلة بحسب مقاييسنا بحيث لم يعد ممكنا ضمن قوانيننا الفيزيائية تحقيق العبور في زمننا. لقد بلغنا غاية جهدنا ووصلنا منتهى عقالنا في توسعه شدفتنا من الحبيكة المادية . بارتباطنا

بحدود موضع الحجم والبعد لا تملك القدرة على تنظيم الحركة بما يتيح لنا توصيل نظامنا بموضع كوكب او نجم آخر . اذ لتحقيق هذا يتحتم علينا تكبير سيادتنا الحجمية البعدية بالمقاييس الكونية.

نحن الآن في الفاصل البيني بين بعدين عظيمين، كون الأحياء المجهرية الدقيقة والكون الأكبر. الأول مبني على قوة الاجتذاب الكهروستاتي والتي تتوسط البنى الجزيئية والخلوية، بينما الآخر منسط بقوة الجاذبية القائمة بين الكتل الكبرى، والحجم هو الميزة الوحيدة بين البعدين ويعمل عكسيا مع قدرة القوة الرابطة، والميكروبية المحاطة بالتفاعلات الشديدة للعالم الجزيئي ، تقع بعيدة دون منال الجاذبية ولا تملك ادراكا بوجودها . لكننا نحن في الفاصل البيني، نرى تلك الأشياء أصغر منا تستجيب لعلاقات الالفة الكيميائية ونحس كتلتنا بشد الجاذبية الساحب فتحكي لنا الحبكة التي تضم الكون.

ان انحيازنا البيولوجي يحجب عنا دورنا الكوني، ونحن نعتبر الحياة والوعي بمثابة الأشكال النهائية للتحقق المادي ونؤمن أن الانسان وأخلافه العلويين سيمسكون بزمام غزو الفضاء، تراودنا افكار التواصل مع منظومات أخرى من نوعنا في المجرة ، لغرض اخراجها واخراج أنفسنا من العزلة الى النور المشترك للوجود الواعي . لكن النجوم مواضع وقوع الارتباط لحبكة البعد الكوني، وسواحلها هي الكواكب، وقاراتها هي المنظومات الكوكبية ، وعوالمها جزر كونية من آلاف الملايين اللامحدودة من النجوم مبعثرة في بحر خاو من الجسيمات والنوى الفرع ذرية، أو الفرعذرية (اذا استسيغت الصيغة). ولكي ندخل الى هذه الساحة ونصبح جزءا منها يتحتم علينا أن نملك التركيبة المعقدة وناصية طاقة متناسبة لنتمكن من القبض على زمام السيطرة والتحكم بالمادة والبعد على ذلك النطاق.

خلقت البروكاريوت كمون طاقة عجزت عن السيطرة عليه . فخلقها ليس شكلا أكثر تطورا من البروكاريوت وانما خلق جديد كليا نهض من توالف لأصناف متنوعة . كان يوجد في التوليفة بين آلاف الملايين اللامحدودة من الميكروبات البروكاريوتية متعضيات لها ازمات لاستخدام الاوكسجين الجزيئي للتنفس ، ونشأت أخرى لها ازمات لوقاية انفسها من الفناء بالأكسدة . وعندما بلغ كمون الاوكسجين الجوي مستوى حرجا اثناء الحقبة ما قبل الكمبرية ، كون صنفا المتعضيات اتحادا تعايشيا واندمجا بعضهما في صنف واحد تراجعت امامه البروكاريوت الى اكاوع منعزلة من البيئة لتقضي ايام وجودها كأحافير حية من عصر انقضى وزال . واليوم يضم البدن البشري لوحده أعدادا هائلة من البكتيريا التي قد كيفت أنفسها للعيش في باطن متنوج متطور من خلقتها أو صنعها هي.

والآن قد أخفت الدورة تشارف اتمام لفة كاملة فقدت البروكاريوت سيادتها ليس فقط بمجرد انها سحت بيئتها وانما لأنها كانت على حافة بعد أكبر وخلقت كمونا من الطاقة ملك القدرة لدفع شكل جديد من الحياة اليه. ونحن ايضا نقف متوازنين على لوحة الانطلاق نستعرض متجه مستقبلنا.

نحن نتوهم بأن افعالنا نابعة منا وأن يدنا هي التي تقبض على زمام الأمور. لكن الكون لا يشاركنا في انحيازنا البيولوجي، ان الحياة والوعي من خصائص المخلوقات الحية ، وفي التطور الكوني تأتي الأحياء أو البيولوجيا بمثابة طور يقع بين التطور الكيميائي والتطور الذي سيليه . وخواصنا البيولوجية هي صفات نشأت لملاءمة الاحوال القائمة في بعدنا. أما البعد الكوني فيخص منظومات تمتلك القدرة على التسامي على متسعات الزمان في الرحاب المجرية.

وفيما نواصل التبصر أبعد فأبعد ابدا في الزمن والبعد من خلال

الخصائص في قصتنا الانفرادية المتمركزة في قشرة الأنوية نرى كوننا دواما يصيح وضع بالتطور الديناميي ، فندرك اننا لربما ، مجرد لربما ، كما نبحث عن الجواب للسؤال المقلوط • ان الأمر لم يعد الآن مسألة كيف يتلاءم الكون مع الكائن الانساني ، بل بالأحرى، كيف يتلاءم الانسان كي يكون كائن الكون؟

ليس الجنس البشري لوحده هو الذي يصل الى الفضاء ، انما الارض بنطاقها الحيوي هي التي قد بدأت تمد نفسها وتنوءاتها الى المنظومة الشمسية. ان تكنولوجيا الانسان تمثل نهاية مدى التطور البيولوجي والولوج الى تطور التطور الميكانيكي • ومبتكراتنا الآن هي في تلك المرحلة التي كان التطور الكيميائي قد بلغها على الأرض البدائية مباشرة قبل خلقه الخلايا الاولى واتيانه بالتطور البيولوجي، انها الآن في طريقها الى الاكتفاء الذاتي مثل الخلايا البيولوجية ، وحتى اننا قد يكون في وسعنا أن ندمج فيها وعينا ونجعلها مستقلة بما يكفي لكي نطلقها سهوا في تطورها الخاص بها.

تملك مختلقاتنا القدرة لتفضي الى شبكة بحجم المجموعة الشمسية ، كالجنين النامي، حيث تمايز الخلايا لأداء وظائف معينة ، بوسع متجهنا التكنولوجي أن ينمو الى المنظومة الشمسية في اتحاد بشري مكائني، الى أن في النهاية ربما يتضاءل دور الانسان ويلتغي، فيمسي هو في حالة التطور الراكد الآسن كالميكروبة البروكاريوتية في كونها القطيري، بينما تواصل خلائقه السير الى أبعاد أعظم.

فيما نعيش حياتنا نحن كأفراد وكنوع يبدو ان دورنا في السيرورة الكونية مقدر لنا مسبقا • يوجد مغزى كوني لمنحى الانسان • فنحن نحاول . في عالم منفجر سائر الى الفوضى، ايقاف التيار باعادة كبس الزمن والمكان في حيز النظام، لقد غدا الانفجار الاجتياحي الذي خلق الكون المادي حساء مبتلا بالطاقة الكامنة الانتظامية • وكالعنقاء (phoenix) الأسطورية التي نهضت

متجددة من ارمدتها ذاتها ، يملك الكون في باطنه بذور انبعاثه مجددا.

وربما لن نعلم أبدا ماهية خليقتنا ، وربما لن نعلم ابدا الصفات التي تكمن ما وراء قدرة الوعي والادراك الذاتي، والتقدم نحو أشكال اكبر وأكثر تطورا سيحمل خليقتنا الى خارج نطاق الادراك البشري وخارج شدفتنا من الكون، الى بعد جديد وواقع جديد.

الفهرس

وزارة الثقافة والاعلام
دار الشؤون الثقافية العامة
بغداد ١٩٨٩

الغلاف رياض عبد الكريم
طبع في مطابع دار الشؤون الثقافية العامة